

Российская Академия Наук

ВЕСТНИК

Кольского научного центра РАН

2/2012



- Естественные и технические науки
- Конференции, семинары
- Новые книги
- Юбиляры
- Потери науки
- Contents

2/2012(9)

издается с декабря 2009 года
ISBN 978-5-91137-211-8

Российская Академия Наук

ВЕЕСТНИК

Кольского научного центра РАН

Главный редактор - академик В.Т. Калинин

Заместители главного редактора
д.г.-м.н. В.П. Петров,
д.т.н. А.В. Горохов (руководитель редакции)

Редационный совет

академик Г.Г. Матишов,, академик Н.Н. Мельников,
академик Ф.П. Митрофанов, чл.-корр. В.К.Жиров,
чл.-корр. А.И. Николаев, д.г.-м.н. Ю.Л. Войтеховский,
д.т.н. Б.В. Ефимов, д.э.н. Ф.Д. Ларичкин,
д.т.н. В.А. Маслбоев, д.т.н. В.А. Путилов,
д.ф.-м.н. Е.Д. Терещенко,
к.г.-м.н. А.Н. Виноградов (ответственный секретарь)

Журнал включен в Российский индекс научного цитирования (РИНЦ) с 2009 года

Требования к оформлению статей см.:
<http://www.kolasc.net.ru/russian/news/vestnik/trebovaniya.pdf>

184209, Мурманская область, г.Апатиты, ул.Ферсмана, д.14.
Кольский научный центр РАН, редакция журнала "Вестник Кольского научного центра РАН"
Тел.(81555)79226. Факс (81555)76425
E-mail: usov@admksk.apatity.ru

ЕСТЕСТВЕННЫЕ И ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Е.Д. Терещенко, А.Е. Сидоренко, В.Ф. Григорьев	Вариации электромагнитного поля искусственного источника СНЧ-диапазона в переходной зоне.....	3
Е.Д. Терещенко, В.А. Турянский, Р.Ю. Юрик	Моделирование высотно-широтных распределений скорости объемной эмиссии O(¹ D) на основе радиотомографических реконструкций электронной концентрации в ионосфере	8
Е.Д. Терещенко, Р.Ю. Юрик, Л. Бэддли	Наблюдение искусственного радиоизлучения ионосферы в высоких широтах при различных режимах работы нагревного стенда.....	16
А.Г. Дворецкий, В.Г. Дворецкий	Особенности биологии бокоплава, симбионта камчатского краба в губе Сайда (Баренцево море).....	22
В.Г. Дворецкий, А.Г. Дворецкий	Распределение копепод в весеннем планктоне побережья Баренцева моря в 2007 г..	
Н.Е. Королёва	100 лет геоботанических исследований в Мурманской области: итоги и перспективы.....	29
Н.Е. Королёва	Остров Сёрёйя (провинция Финмарк, северная Норвегия) – арена международного сотрудничества в области изучения и охраны природы. 36	
Ю.А. Балашов	Изменение летучести кислорода в мантийных и коровых системах в интервале Хадей–Фанерозой.....	51
Ю.А. Балашов	Геохронологическое соотношение мантийных процессов гомогенизации и дифференциации Земли	55
А.И. Калашник, С.В. Казачков, В.А. Сохарев, Д.В. Запорожец, А.Ю. Дьяков	Исследования горнотехнических конструкций карьера георадарными технологиями.....	58
А.Я. Фридман, О.В. Фридман	Модели и методы координации решений по управлению региональным промышленно-природным комплексом.....	65
В.В. Быстров Ю.О. Самойлов	Имитационное моделирование в задачах менеджмента качества образования вуза.....	79
	КОНФЕРЕНЦИИ, СЕМИНАРЫ	87
	НОВЫЕ КНИГИ	90
	ЮБИЛЯРЫ	94
	ПОТЕРИ НАУКИ	97
	CONTENTS	99

Редколлегия:

д.т.н. А.В. Горохов (руководитель редакции), д.б.н. Н.К. Белишева, к.т.н. П.Б. Громов, д.ф.-м.н. В.Е. Иванов, д.б.н. Н.А. Кашулин, д.т.н. А.А. Козырев, д.б.н. П.Р. Макаревич, д.т.н. А.Г. Олейник, д.и.н. И.А. Разумова, к.г.-м.н. Т.В. Рундквист, д.э.н. В.С. Селин, к.т.н. А.Ф. Усов (ответственный секретарь редколлегии)
 Редактор: А.С. Менделева, информационная поддержка: Е.Т. Мартынова, Л.А. Тимофеева
 Зав. издательством, художественный редактор М.С. Строков.
 Верстка, фото В.Ю. Жиганов

УДК 550.837.6; 523.31-423.3; 551.510.535

ВАРИАЦИИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ ИСКУССТВЕННОГО ИСТОЧНИКА СНЧ-ДИАПАЗОНА В ПЕРЕХОДНОЙ ЗОНЕ

Е.Д. Терещенко, А.Е. Сидоренко, В.Ф. Григорьев
Полярный геофизический институт КНЦ РАН

Аннотация

Приведены результаты эксперимента по исследованию динамики электромагнитного поля искусственного источника СНЧ-диапазона в течение 30 суток. Обнаружены вариации полей с периодами от нескольких часов до нескольких суток. При наблюдениях в течение одного сидерического периода обращения Луны отмечены вариации полей, синфазные с приливными деформациями земной коры вдоль вертикальной оси. Эти вариации по амплитуде значительно превышают суточные и могут быть связаны с крупномасштабными приливными процессами в толще земной коры. На периодах менее суток вариации полей, вероятнее всего, обусловлены ионосферными процессами.

Ключевые слова:

электромагнитное поле, искусственный источник, сверхнизкие частоты, вариации поля, импеданс, приливные деформации, ионосфера.



Введение

Известно, что деформация земной коры под действием лунно-солнечных приливных сил вызывает изменение ее кажущегося сопротивления. В последние годы в литературе опубликован ряд работ, посвященных исследованиям приливных вариаций кажущегося сопротивления земной коры ρ_k с периодами порядка нескольких часов по измерениям в СНЧ-диапазоне [1–3].

Применяемый при этом широко известный в магнитотеллурике подход к определению электрических свойств подстилающей среды использует измерения импеданса – величины, производной от непосредственно измеряемых тангенциальных компонент электрического и магнитного полей. Электромагнитное поле на поверхности земли определяется характером электропроводности земной коры и реагирует на вариации кажущегося сопротивления. Поэтому изучение вариаций электрического и магнитного полей, вызванных изменениями свойств подстилающей среды, дает дополнительные сведения о протекающих в ней физических процессах.

В данной работе приводятся описание и результаты первого продолжительного эксперимента по исследованию динамики электромагнитного поля стационарного искусственного источника СНЧ-диапазона в течение одного сидерического периода обращения Луны.

Описание эксперимента

Эксперимент проводился в июле 2009 г. в течение 30 дней в круглосуточном режиме. Проведенные измерения охватывают промежуток времени чуть больший одного сидерического периода обращения Луны, что важно с точки зрения анализа корреляции измеренных величин с солнечно-лунными приливными процессами.



Рис. 1. Географическая схема эксперимента

Генерация электромагнитного поля производилась мощной радиопередающей установкой СНЧ-диапазона, расположенной в северной части Кольского полуострова [4]. Антенная система установки представляет собой две практически прямолинейные горизонтальные заземленные линии протяженностью порядка 60 км (далее в тексте – условно «северная» и «южная»), ориентированные вдоль географической широты. Антенны работали поочередно. Это учитывалось при дальнейшем анализе результатов и принципиально не меняло условий эксперимента. Установка создавала квазимонохроматическое поле частотой 82 Гц при силе тока в антенне порядка 200 А. Ток в антенне записывался цифровой системой регистрации и сбора данных с постоянной привязкой ко времени UT по сигналам спутниковых навигационных систем ГЛОНАСС/GPS.

Регистрация полей источника производилась в обсерватории ПГИ КНЦ РАН Ловозеро на удалении порядка 90 км в юго-восточном направлении от центра антенной системы (рис. 1) – в переходной зоне источника излучения, где влияние ионосферы практически отсутствует.

Для измерения напряженности горизонтального электрического поля использованы две ортогональные заземленные линии длиной по 200 м, одна из которых ориентирована вдоль магнитного меридиана. Измерение магнитного поля производилось при помощи индукционного магнитометра, горизонтальные датчики которого были ориентированы в тех же направлениях, что и электрические антенны. Магнитное склонение в пункте приема восточное и составляет 15° .

Данные измерителей электрического и магнитного полей регистрировались также цифровой системой регистрации и сбора данных с привязкой ко времени UT по сигналам ГЛОНАСС/GPS. Высокая мощность передатчика и относительно близкое расположение приемного пункта позволило получить в эксперименте соотношение сигнал–шум не менее 60 дБ.

Точная привязка измерений поля и тока в антенне передатчика ко времени по сигналам спутниковых навигационных систем позволила получить синхронные временные ряды измеряемых величин. Обработка полученных таким образом синхронных цифровых записей позволила определить поляризационные характеристики полей (характеристики эллипсов поляризации), а также выполнить нормировку амплитудных параметров поля на силу тока в антенне, что необходимо для исключения особенностей генерации тока при изучении естественных вариаций поля.

Параметры принятого сигнала и тока в антенне последовательно оценивались на промежутках длительностью 120 с. Амплитуды сигналов определялись по найденной спектральной плотности мощности, а разности фаз между соответствующими компонентами – по их взаимным спектрам. Амплитуды измеренных сигналов нормировались на силу тока в антенне, как отношения их синхронных оценок на 120-секундных интервалах.

По амплитудам и разностям фаз компонент вычислялись временные ряды значений больших полуосей горизонтальных эллипсов поляризации электрического и магнитного полей. Это позволило провести анализ временной изменчивости горизонтального электромагнитного поля, а также получить временные ряды значений поверхностного импеданса Z .

Для устранения случайных высокочастотных помех естественного происхождения ко всем рядам данных было применено сглаживание методом Уиттекера [5–6].

Полученные временные ряды исследуемых величин (большие полуоси эллипсов поляризации электрического и магнитного полей A_e и A_m , а также модуль поверхностного импеданса Z) в дальнейшем были исследованы на наличие вариаций и их корреляцию с приливными процессами в земной коре.

Результаты и их обсуждение

Анализ полученных данных показал, что горизонтальные составляющие магнитного и электрического полей, приведенные к току 1 А в антенне передатчика, испытывают временные вариации с периодами от нескольких часов до нескольких суток.

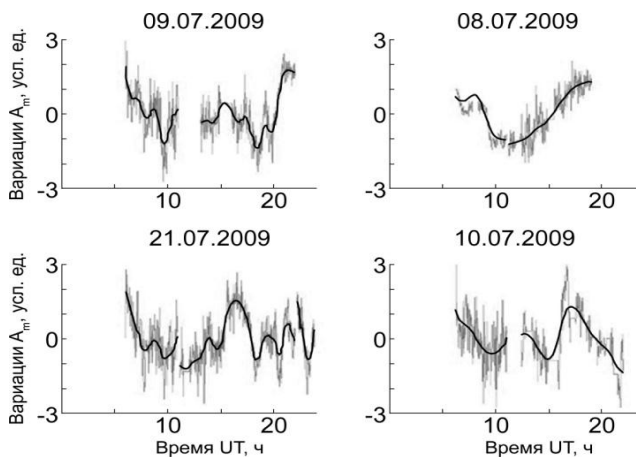


Рис. 2. Вариации большой полуоси эллипса поляризации горизонтального магнитного поля A_m при токе 1 А в антенне передатчика

На рисунке 2 показаны примеры наблюдаемых вариаций большой полуоси эллипса поляризации напряженности горизонтального магнитного поля A_m , относящиеся к нескольким различным дням наблюдений. Графики в левой части рисунка относятся к сеансам работы северной антенны передатчика, в правой – южной.

На графиках по вертикальной оси отложены вариации большой полуоси эллипса A_m в одинаковых условных единицах, нормированные на соответствующие среднесуточные значения. По горизонтальной оси отложено время UT в часах. Более светлым тоном на графике показаны исходные временные ряды с усреднением за 120 с, а черным – результат их сглаживания. На рисунке видны временные вариации амплитуды длительностью порядка нескольких часов. В среднем величина этих вариаций не превышает 0.7% от среднего за сутки значения амплитуды.

Из рисунка 2 видно, что в разные дни в одинаковое время суток наблюдаются участки с качественно сходными вариациями. Так, обычно наблюдается убывание амплитуды в утренние часы – примерно до 08.00 UT, присутствуют локальные максимумы около в промежутках 08.00–10.00 UT и в 15.00–16.00 UT, а также во многих случаях отмечается рост амплитуды поля после 21.00 UT.

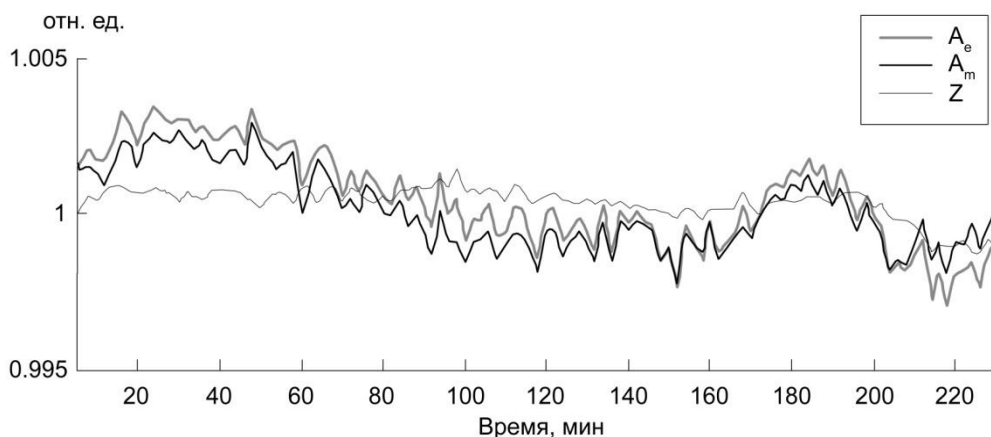


Рис. 3. Относительные вариации величин больших полуосей эллипсов поляризации напряженностей электрического (A_e) и магнитного полей (A_m) и модуля поверхностного импеданса Z

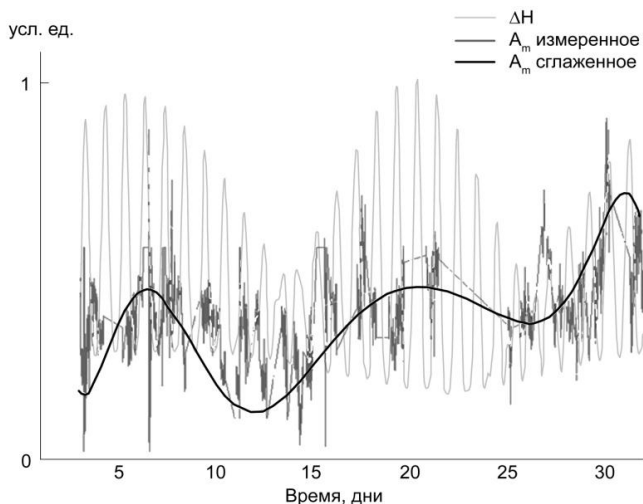


Рис. 4. Вариации горизонтального магнитного поля A_m при токе 1A в антенне передатчика и вертикальные приливные

приведенной к току, в течение всего эксперимента, в сравнении с вертикальной компонентой приливной деформации ΔH . Приливная деформация земной коры обозначена пунктиром, светлым тоном – измеренные вариации горизонтального магнитного поля с усреднением за час, а сплошной черной линией – сглаженные вариации поля.

На рисунке 3 для примера показаны графики приведенных к току и нормированных на средние по выборке значения временных рядов A_e , A_m и модуля поверхностного импеданса Z на интервале времени $T=240$ мин. Из рисунка следует, что на относительно коротких промежутках времени импеданс не испытывает вариаций, сопоставимых по интенсивности с вариациями электрического и магнитного полей. При этом амплитуды наблюдаемых вариаций магнитного и электрического полей длительностью до нескольких часов относительно малы – в среднем они на 2–3 порядка меньше амплитуды самих полей. В то же время, благодаря большому соотношению сигнал-шум, точность измерений в эксперименте позволила регистрировать даже такие малые изменения полей.

На рисунке 4, в условных единицах показан временной ход амплитуды магнитного поля,

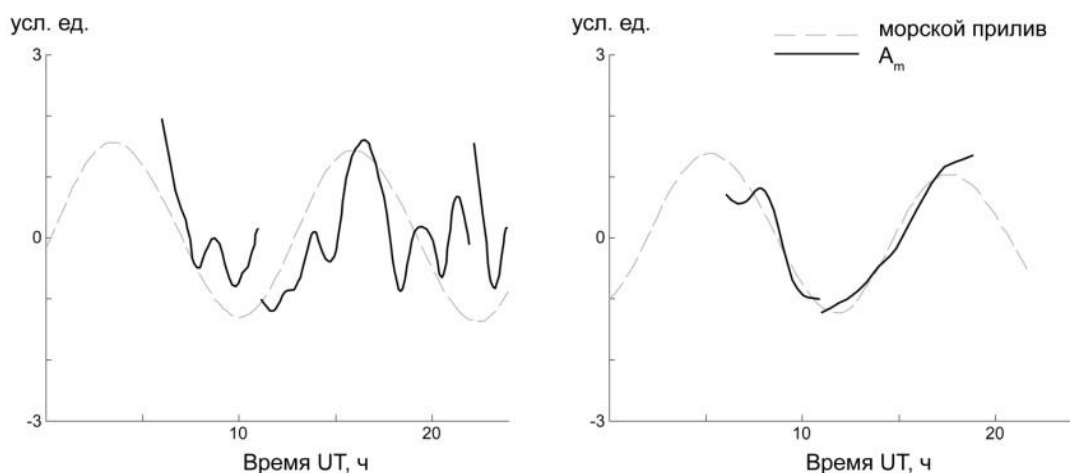


Рис. 5. Приливные изменения уровня морской воды в порту Мурманск и вариации горизонтального магнитного поля A_m

Полученные суточные временные ряды A_e и A_m были сопоставлены с изменениями уровня воды в ближайшем морском порту Мурманск (рис. 5), а также с расчетными приливными смещениями земной поверхности ΔH вдоль вертикальной оси под действием солнечно-лунных приливных сил (рис. 6). На рисунке 5 видно, что в отдельных редких случаях наблюдается хорошая корреляция значительных вариаций поля с процессами морских приливов и отливов, однако статистически значимого набора таких случаев пока не было выявлено. Аналогичной связи с приливными деформациями земной поверхности в то же самое время на периодах менее 24 часов не наблюдалось.

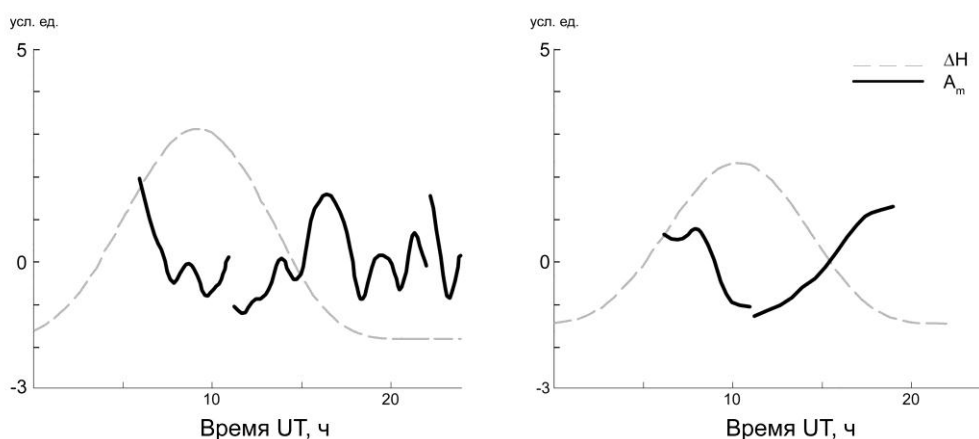


Рис. 6. Приливные вертикальные смещения земной коры ΔH и вариации горизонтального магнитного поля A_m

30-дневная продолжительность эксперимента позволила исследовать динамику электромагнитного поля на промежутке, по длительности превышающем сидерический период обращения Луны (≈ 27.3 сут.). Качественная картина вариаций поля на периодах такой продолжительности выглядит иначе (рис. 4). Здесь отчетливо наблюдаются более медленные вариации поля – с периодом около 14 суток, которые по амплитуде значительно превышают суточные, а по фазе совпадают с приливными деформациями земной коры той же периодичности. При этом, максимумы поля приходятся на дни близкие к новолуниям и полнолуниям, а минимумы – к фазе полумесяца, что дополнительно указывает на их связь с приливными процессами.

Выводы

Как отмечалось в работе [3], на поверхности толстых однородных осадочных чехлов, приливные вариации кажущегося сопротивления ρ_k отсутствуют. Наш эксперимент по измерению поля в переходной зоне искусственного источника излучения показал, что земные приливные

эффекты все же могут быть обнаружены при продолжительных высокоточных измерениях электрического и магнитного полей даже на кристаллических щитах.

Благодаря применению современного приемно-передающего комплекса СНЧ-диапазона, в данной работе впервые были измерены крайне слабые вариации электрического и магнитного полей – на 2–3 порядка меньшие амплитуд самих полей. Устойчивая повторяемость участков вариаций в разные дни подтверждает качество полученных данных.

Измерения показали, что поверхностный импеданс на периодах порядка нескольких часов не имеет таких же ярко выраженных вариаций, как горизонтальные электрическое и магнитное поля. Следовательно, основным источником наблюдаемых вариаций СНЧ-полей длительностью порядка нескольких часов следует считать активно протекающие процессы в ионосфере Земли.

Обнаруженные на длительном интервале наблюдений вариации поля с периодом около 14 суток имеют несколько иные свойства. Здесь однозначно проявляется их регулярный характер и амплитуда этих медленных вариаций значительно больше, чем у суточных. Эти медленные вариации поля достаточно близки по фазе к приливным смещениям земной поверхности ΔH с тем же периодом – с приливной волной Mf (период ≈ 13.7 сут.), и, по-видимому, связаны с крупномасштабными приливными процессами в толще земной коры.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кононов Ю.М., Жамалетдинов А.А. Системы СНЧ-радиосвязи и мониторинга среды: перспективное направление конверсионной политики России // ИНФОРМОСТ - Радиоэлектроника и телекоммуникации. 2002. № 3(21). С. 4–6.
2. Saraev A.K., Pertel M.I. and Malkin Z.M. Correction of the electromagnetic monitoring data for tidal variations of apparent resistivity // Journal of Applied Geophysics. 2002. Vol. 49, № 1–2. P. 91–100.
3. Saraev A.K., Pertel M.I. and Malkin Z.M. Monitoring of tidal variations of apparent resistivity // Geologica Acta. 2010. Vol. 8, № 1. P. 5–13.
4. Велихов Е.П. Использование мощных стационарных источников экстремально низкочастотного электромагнитного поля в задаче дистанционного зондирования. Инновационные электромагнитные методы геофизики / Е.П. Велихов, Е.Д. Терещенко, М.С. Жданов, **Ошибка! Ошибка связи.** Щорс, Т.А. Багиров, В.Ф. Григорьев, А.Е. Сидоренко, А.Н. Миличенко. М., 2009. С. 10-21.
5. Малкин З.М. О сглаживании методом Уиттекера // Кинематика и физика небесных тел. 1996. Т. 12, № 4. С. 92–96.
6. Howard L. Weinert. Efficient computation for Whittaker-Henderson smoothing // Computational Statistics & Data Analysis. 2007. № 52. P. 959–974.

Сведения об авторах

Терещенко Евгений Дмитриевич – д.ф.-м.н., директор; e-mail: general@pgi.ru

Сидоренко Антон Евгеньевич – младший научный сотрудник; e-mail: anton@pgi.ru

Григорьев Валерий Федосеевич – помощник директора; e-mail: valgri@pgi.ru

МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЫСОТНО-ШИРОТНЫХ РАСПРЕДЕЛЕНИЙ СКОРОСТИ ОБЪЕМНОЙ ЭМИССИИ $O(^1D)$ НА ОСНОВЕ РАДИОТОМОГРАФИЧЕСКИХ РЕКОНСТРУКЦИЙ ЭЛЕКТРОННОЙ КОНЦЕНТРАЦИИ В ИОНОСФЕРЕ

Е.Д. Терещенко, В.А. Турянский, Р.Ю. Юрик
Полярный геофизический институт КНЦ РАН

Аннотация

Представлены первые результаты построения высотно-широтных профилей электронной температуры и скорости объемной эмиссии $O(^1D)$, полученные на базе радиотомографических реконструкций распределений плотности электронов в ночной ионосфере. Спутниковые данные наблюдений относятся к спокойным гелиогеофизическим условиям. Используемая модель эмиссии учитывает возбуждение атомарного кислорода в процессах диссоциативной рекомбинации и возбуждение тепловыми электронами. Вычисленные значения электронной температуры находятся в хорошем согласии с данными спутниковых наблюдений (ESRO-4), а рассчитанные интенсивности в линии 630 нм практически совпадают с измеренными в диапазоне от средних до субавроральных широт.

Ключевые слова:

ионосфера, температура электронов, атмосферные эмиссии, процессы возбуждения.



Введение

Регулярные измерения интенсивности красной эмиссии начались в период Международного геофизического года (1957–1958 гг.), результаты этих исследований и их продолжение опубликованы в работах [1, 2]. Накопленный материал фотометрических измерений, представленный во множестве последующих публикаций, относится в

основном к данным об интенсивности излучения в области средних широт.

Ионизированные атмосферные компоненты участвуют в основных фотохимических процессах, приводящих к генерации эмиссии 630 нм, что обуславливает доминирующую роль освещенности атмосферы солнечным УФ-излучением на высотах эмиссионного слоя. Уменьшение интенсивности эмиссии в течение сумерек происходит из-за понижения концентраций реагентов, участвующих в диссоциативной рекомбинации. Освещение ультрафиолетовым излучением Солнца магнитно-сопряженной области атмосферы обеспечивает дополнительное возбуждение $O(^1D)$ потоком фотоэлектронов и ионов в зимние периоды и предутреннее увеличение интенсивности.

Во время геомагнитных возмущений на низких и средних широтах наблюдаются красные сияния, интенсивность которых значительно превосходит свечение в спокойных условиях [3]. На фазе восстановления геомагнитных бурь на средних широтах наблюдаются субавроральные красные дуги (SAR-дуги), возникающие вследствие роста коэффициента скорости возбуждения эмиссии 630 нм тепловыми электронами с увеличением электронной температуры на высотах F-области и внешней ионосферы [4]. В высокоширотных сияниях в возбуждение кислорода основной вклад вносит процесс ионизации нейтралов потоками вторгающихся электронов высоких энергий.

Излучение атомарного кислорода при переходе $O(^1D_2) \rightarrow O(^3P_2)$ является характерной особенностью эмиссий F-области ионосферы. Исследование механизмов возбуждения и распределения по высоте этой эмиссии необходимо для корректного расчета теплового баланса атмосферы.

Измерения интенсивности в линии 630 нм также давно используются при определении энергетического спектра электронов [5] и скорости ионосферных нейтральных ветров [6].

Первые работы по исследованию связи между интенсивностью атмосферной линии 630 нм и основными параметрами слоя F (электронная концентрация в максимуме, его высота) [7] и моделированию высотных профилей красной кислородной эмиссии [8] опубликованы в 1962 г. и 1975 г. соответственно.

Ракетные и спутниковые измерения высотных профилей красной эмиссии проводились в 1964–1995 гг. Всего имеются сведения о 25 ракетных пусках и спутниковых измерениях, проводившихся преимущественно в средних широтах [9].

Необходимо отметить, что накопленный материал наблюдений недостаточен для построения глобального распределения свечения $O(^1D)$ в зависимости от гелиогеофизических условий, а также в имеющихся публикациях не представлены методики, позволяющие получать адекватные этим условиям реальные высотно-широтные профили эмиссионного слоя.

Методика исследований

В настоящее время для исследования верхней атмосферы успешно применяются спутниковые бортовые аппаратные комплексы. В частности, использование меридиональной сети станций, принимающих радиосигналы низкоорбитальных навигационных спутников, позволяет методами радиотомографии получать высотно-широтные реконструкции электронной плотности в ионосфере за относительно короткий интервал времени (время пролета ИСЗ) [10, 11, 12].

На приемных станциях регистрируются спутниковые сигналы двух когерентных частот (150 и 400 МГц), приведенная разностная фаза этих частот пропорциональна полному электронному содержанию (ТЕС) – линейному интегралу от концентрации электронов вдоль луча от спутника (S) до наземного приемника (R):

$$\Delta\varphi \propto \int_S^R N_e ds + C,$$

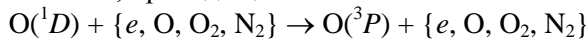
где N_e – концентрация электронов, ds – элемент луча и C – фазовая константа.

По регистрациям разностной фазы сигналов с помощью реконструкции определяются электронные концентрации и фазовые константы [13, 14]. При этом результаты реконструкции электронной плотности обычно представляются в виде высотно-широтных разрезов ионосферы. Эти высотно-широтные распределения и являются основным входным параметром в нашей модели красной кислородной эмиссии.

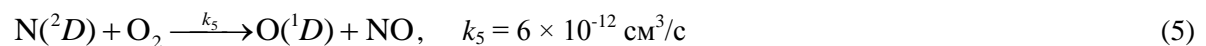
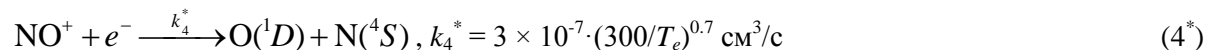
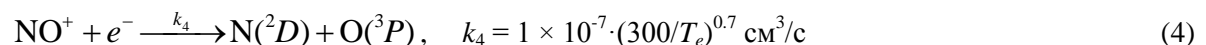
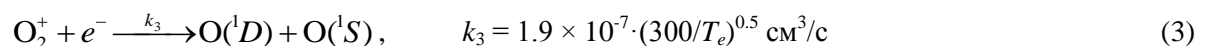
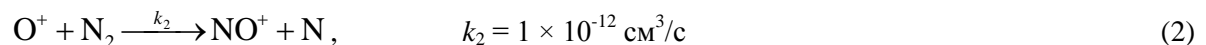
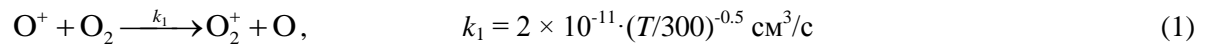
В модели эмиссии постулируется, что наблюдаемая интенсивность свечения в ночных спокойных условиях определяется ионно-химическими процессами и возбуждением атомарного кислорода тепловыми электронами.

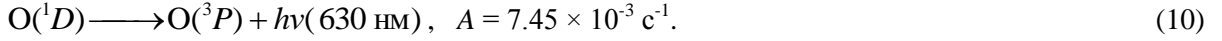
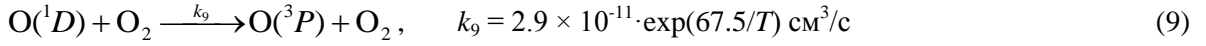
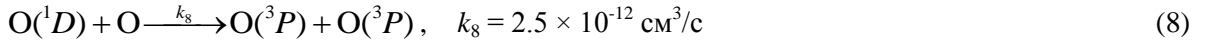
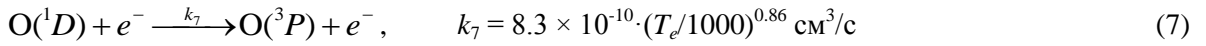
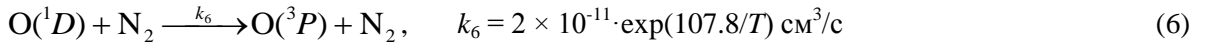
Коэффициент Эйнштейна для радиационного перехода из возбужденного метастабильного состояния $O(^1D)$ в основное равен $A = 7.45 \times 10^{-3} \text{ с}^{-1}$, что соответствует времени жизни атома кислорода в возбужденном состоянии ~ 134 с, длительность нахождения в возбужденном состоянии делает возможным излучение эмиссии на высотах F-области и выше, на более низких высотах происходит гашение эмиссии на нейтральных составляющих атмосферы.

Основные процессы столкновений возбужденных атомов с электронами и нейтральными компонентами, приводящие их в состояние теплового равновесия с окружающей средой следующие



Ионно-химические реакции, определяющие в ночных условиях возбуждение и гашение метастабильного состояния эмиссии $O(^1D)$:





Коэффициенты скорости реакций $k_1 - k_9$ взяты из работы [15]. Реакция (10) не относится к химическим реакциям, она включена в модель как замыкающая цепь химических преобразований процессом излучения. Реакции обмена зарядом (1) и (2) предшествуют образованию метастабильных атомов кислорода в результате диссоциативной рекомбинации ионов (3, 4). В реакции иона окиси азота (4*) не соблюдается правило Вигнера о сохранении спина, поэтому реальное влияние этого процесса на концентрацию метастабильных атомов кислорода несущественно [16]. Деактивация возбужденных атомов $\text{O}({}^1D)$ происходит при столкновениях с нейтральными атмосферными компонентами (6 – 9). Таким образом, используя вышеприведенные уравнения и учитывая, что на высотах термосферы условие квазинейтральности плазмы можно записать как

$$[e] = [\text{O}^+] + [\text{O}_2^+] + [\text{NO}^+], \quad (11)$$

получаем выражение для скорости объемной эмиссии $\text{O}({}^1D)$, обусловленной ионосферными ионно-молекулярными процессами, в виде

$$V_1 = \frac{0.0069 \cdot \{k_1[\text{O}_2][e] + 2k_2[\text{N}_2][e]\}}{\left(1 + \frac{k_1[\text{O}_2]}{k_3[e]} + \frac{k_2[\text{N}_2]}{k_4[e]}\right) \cdot (0.0091 + k_6[\text{N}_2] + k_7[e] + k_8[\text{O}] + k_9[\text{O}_2])}. \quad (12)$$

Как было показано в работе [17], скорость возбуждения эмиссии $\text{O}({}^1D)$ в столкновениях атомов кислорода, находящихся в основном состоянии $\text{O}({}^3P)$, тепловыми электронами может быть представлена следующим образом:

$$Q_{630.0} = N_e K_{630.0} [\text{O}], \quad (13)$$

где N_e – концентрация электронов и $[\text{O}]$ – концентрация невозбужденных атомов кислорода. Коэффициент возбуждения $K_{630.0}$ записывается в следующей форме:

$$K_{630.0} = \{8kT_e / (\pi m_e)\}^{0.5} \int_0^{\infty} \sigma_{630.0}(x) x \exp(-x) dx, \quad (14)$$

где $x = E/(kT_e)$, m_e – масса электрона, k – постоянная Больцмана, E – энергия электрона и T_e – электронная температура.

По результатам измерений $\sigma_{630}(E)$ [18] в работе Павлов и др. [19] приведена аппроксимация коэффициента возбуждения $\text{O}({}^1D)$ выражением:

$$K_{630.0} = 4.73 \times 10^{-12} (T_e)^{0.7} \exp(-E_0/T_e), \quad (15)$$

где $E_0 = 22829 \text{ К}$ (или 1.9673 эВ) – порог возбуждения $\text{O}({}^1D)$.

В области изменения температуры электронов от 1400 до 6000 К погрешность аналитической аппроксимации коэффициента возбуждения не превосходит 2%. Таким образом, скорость возбуждения $\text{O}({}^1D)$ при столкновениях атомов невозбужденного кислорода $\text{O}({}^3P)$ с тепловыми электронами можно представить в следующем виде:

$$V_2 = A_{630.0} K_{630.0} F_h, \quad (16)$$

где $F_h = N_e [\text{O}] / \{A_1 + K_6[\text{N}_2] + K_8[\text{O}] + K_9[\text{O}_2]\}$; $A_1 = A_{630.0} + A_{636.4} + A_{639.2}$.

Окончательно, полная скорость объемной эмиссии в ночных условиях записывается как:

$$V_{630.0} = V_1 + V_2. \quad (17)$$

Необходимые для вычислений значения концентраций молекул азота, атомарного и молекулярного кислорода определяются по модели нейтральной атмосферы MSISE-2000 в соответствии с гелиогеофизическими условиями радиотомографических наблюдений.

Высотно-широтные профили электронной температуры рассчитываются по модели IRI с использованием полученных радиотомографическим методом распределений электронной плотности в ионосфере.

Результаты

Регистрация разностной фазы спутниковых радиосигналов проводилась на меридиональной приемной цепочке станций (символические обозначения станций показаны на рис. 1): обс. «Баренцбург», арх. Шпицберген (SVB - 78.10°N; 14.21°E), Никель (NIK – 69.40°N; 31.01°E), р.ф.п. «Верхнетуломский» (VTL – 68.59° N; 31.76°E), Кемь (KEM – 64.95°N; 34.57°E), Бабаево (BAB – 59.41°N; 35.92°E), Москва (MSC – 55.67°N; 37.63°E), Острогжск (OST – 50.87°N; 39.06°E), Ростов (ROS – 47.21°N; 39.70°E) и Сочи (SOC – 43.58°N; 39.77°E).

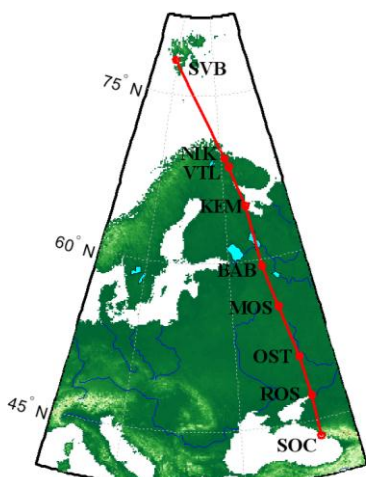


Рис. 1. Приемные пункты спутниковых радиосигналов томографической цепочки в географических координатах

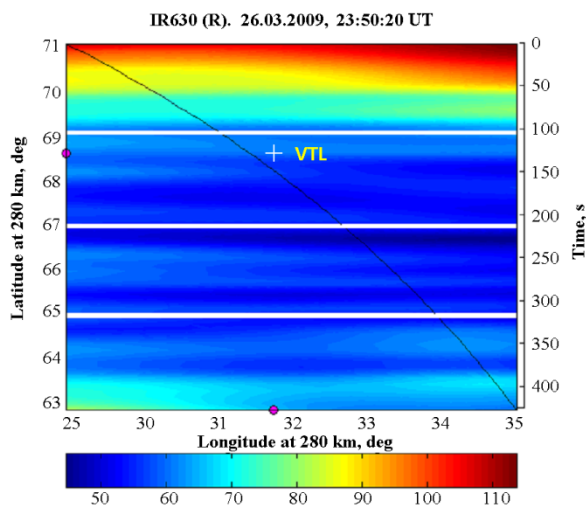


Рис. 2. Изображение интенсивности свечения ночного неба в линии 630-нм (26.03.2009 г.), черной линией показана проекция траектории спутника

26.03.2009 г. представлено на рис. 3, сплошной линией показана проекция магнитного поля в области полярной границы ионосферного провала, а пунктирной – проекция положения солнечного терминатора во время наблюдений. Точками на шкале широт отмечено расположение приемных станций. В высокоширотной части ГИП наблюдается резкая граница в распределении N_e на высотах E и F областей, совпадающая с границей диффузного свечения в эмиссионной линии 630 нм. Полярней этой границы ионосфера освещена Солнцем, что приводит к формированию четко выраженного возмущения в

Описание приемной аппаратуры сигналов ИСЗ содержится в работе [20]. На пункте приема радиосигналов «VTL», также была размещена CCD-камера, оснащенная интерференционным фильтром, центрированным на длину волны 630 нм (полоса по уровню пропускания 0.5 равна 20 нм). Томографические данные, используемые для сравнения с оптическими наблюдениями, относятся к северной части ($\sim 62^\circ - 71^\circ$ с.ш.) реконструкции, попадающей в поле зрения CCD-камеры.

Эксперимент проводился в спокойных геофизических условиях, в течение всей кампании с 15 февраля по 29 Марта 2009 года среднее значение индекса $F_{10.7} \approx 73 \times 10^{-22}$ Вт/м²/Гц и индекса $K_p < 2$. Регистрации свечения ночного неба велись в периоды с приемлемой для оптических наблюдений прозрачностью атмосферы.

На рисунке 2 приведено составленное из четырех последовательных кадров изображение свечения ночного неба в линии 630 нм, полученные во время спутникового пролета 26 марта 2009 г. Высотно-широтное томографическое сечение ионосферы строится вдоль проекции спутниковой траектории, показанной на рисунке черной линией, также вдоль этой проекции производится отсчет интенсивности свечения ионосферной эмиссии кислорода в линии 630 нм. Изображение кадра содержит экваториальный край области высыпаний и фоновое свечение в ночном ГИП вплоть до его среднеширотной границы. Время экспозиции каждого кадра составляло 100 с, начало процесса накопления заряда на матрице камеры соответствует моменту времени 23:43UT.

Распределение электронной концентрации в координатах высота-широта для пролета ИСЗ

электронной концентрации на термосферных высотах (типа наблюдаемых по данным глобальной сети приемников GPS “герминаторных” волн).

Полученное распределение N_e далее использовалось при расчете температуры электронов во всем диапазоне реконструкции (рис. 4, верхняя панель).

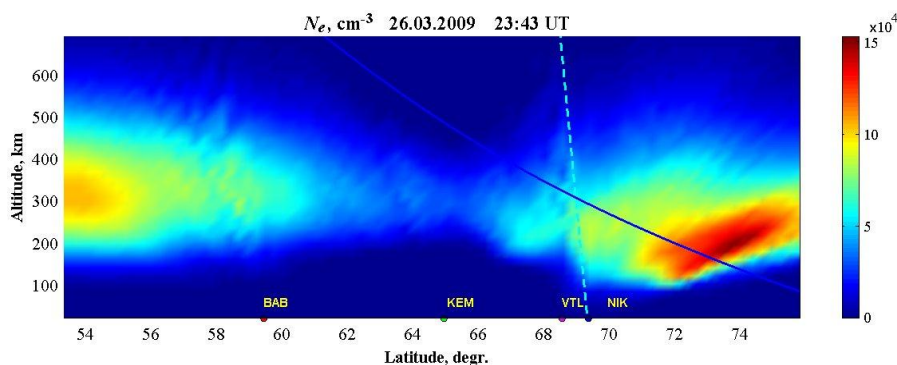


Рис. 3. Томографическая реконструкция распределения электронной концентрации в ионосфере по данным спутникового пролета 26.03.2009 г.

Спутниковые измерения (ESRO-4) температуры электронов в области экваториальной границы ($62^\circ - 64^\circ$ инв. широты) зоны диффузных высыпаний в сходных гелиогеофизических условиях (ночь, равноденствие, $K_p \sim 2$, высота ~ 260 км) находятся практически в полном согласии с результатами модельных вычислений (рис.4). Соответствующие значения электронной температуры находятся в интервале примерно $2500^\circ - 2800^\circ\text{K}$ [21].

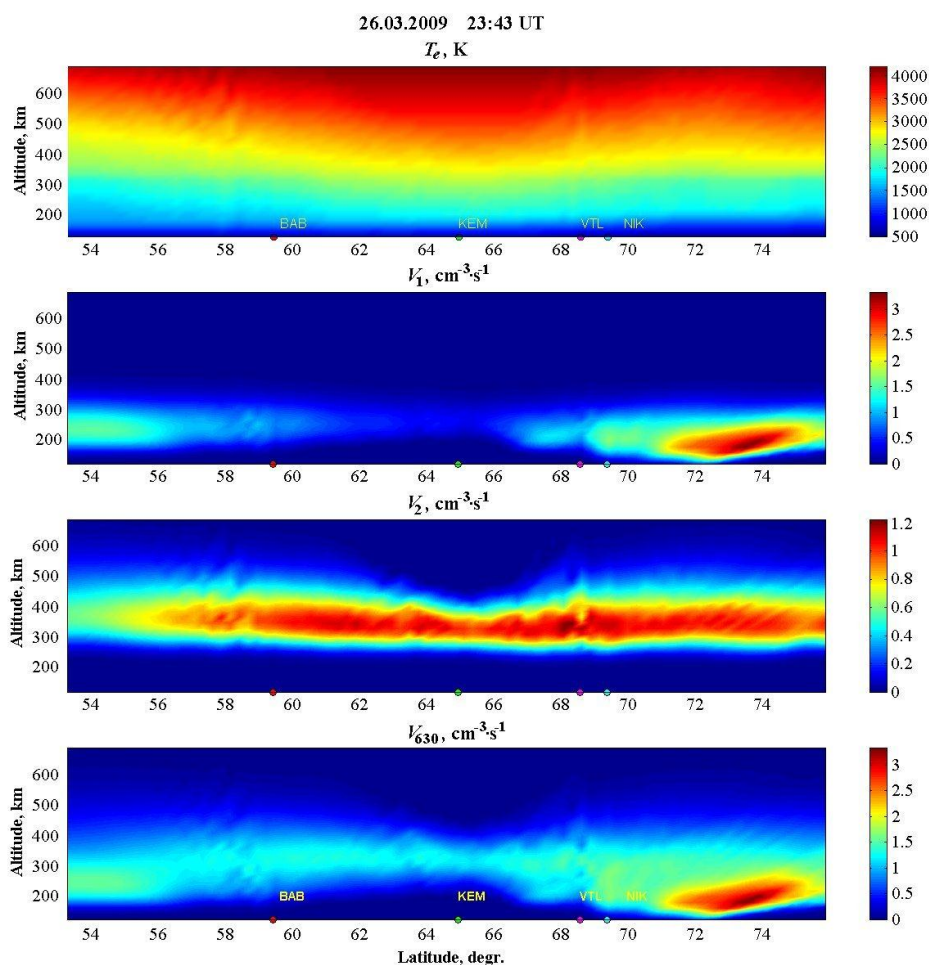


Рис. 4. Модельные распределения температуры электронов (T_e) и скорости эмиссии $O(^1D)$ в ионосфере по данным томографической реконструкции N_e в ионосфере

Данное распределение применялось при расчете вклада тепловых электронов (15, 16) в генерацию эмиссии $O(^1D)$. Высотно-широтное распределение этой составляющей эмиссии показано на рис. 4 (третья панель сверху). Электроны, принадлежащие высокоэнергичному «хвосту» функции распределения, обеспечивают заметный вклад в излучение эмиссии на субавроральных и полярных широтах, особенно, в минимуме концентрации плазмы (ГИП, до 50%) в послеполуночном секторе LT. Роль ионно-химических процессов в генерации эмиссии (рис. 4, вторая панель сверху) является доминирующей на средних широтах и в окрестности экваториальной границы ГИП.

Полное высотно-широтное распределение объемной скорости эмиссии показано на рис. 4 (нижняя панель), цветными точками на широтной оси отмечены приемные станции радиотомографической цепочки. Все распределения получены для временного интервала исходной реконструкции концентрации электронов в ионосфере.

Полученное модельное представление эмиссионного слоя по основным параметрам, таким как интенсивность свечения, высота максимума, толщина слоя, хорошо согласуются с данными многолетних фотометрических наблюдений на средних широтах [9]. В авроральной области одновременно с увеличением интенсивности эмиссии в широтном направлении происходит опускание излучающего слоя и расширение его нижней части, что вызвано, в данном случае, двумя факторами: высыпаниями энергичных частиц в овале сияний и воздействием ультрафиолетового излучения (термосфера полярней 70° с.ш. освещена Солнцем). Этот эффект характерен для перехода от ночных условий в ионосфере к дневным [22].

Обсуждение

Координированные наземные оптические и спутниковые томографические наблюдения проводились в безлунные периоды в феврале – марте 2009 г. Полученные данные использовались для построения томографических реконструкций электронной концентрации в ионосфере, на основе которых производился расчет температуры электронов и скорости объемной эмиссии $O(^1D)$ по представленной выше оптимизированной ионно-химической модели.

Распределение T_e , модифицированное в соответствие с экспериментальным распределением N_e , характеризуется значительным (на ~ 700K) повышением температуры на субавроральных широтах (ночной ГИП) по сравнению со среднеширотными значениями (26.03.2009). Общее повышение температуры электронного газа в ГИП может быть обусловлено резким понижением плотности плазмы из-за уменьшения скорости магнитосферной конвекции и соответствующим увеличением роли рекомбинационных процессов в послеполуночном секторе LT. При понижении плотности

плазмы тепловое равновесие устанавливается при более высоких значениях температуры, т.к. теплопроводность газа пропорциональна концентрации компонентов.

Поскольку данные наблюдения проводились в условиях равноденствия, то на высоте F-слоя может происходить дополнительный рост T_e вследствие направленного вниз теплового потока из освещенной области ионосферы.

Оптические данные измерений на центральной станции (VTL) томографической цепочки, полученные для интервала времени соответствующего пролету ИСЗ, можно использовать для сопоставления наблюдаемой интенсивности свечения в линии 630 нм с интенсивностью, рассчитанной по распределению скорости эмиссии V_{630} (рис. 4).

Результат сравнения в широтном диапазоне от ~ 63° до 71° с.ш. представлен на рис. 5, модельная кривая, в целом, хорошо согласуется с экспериментальной кривой

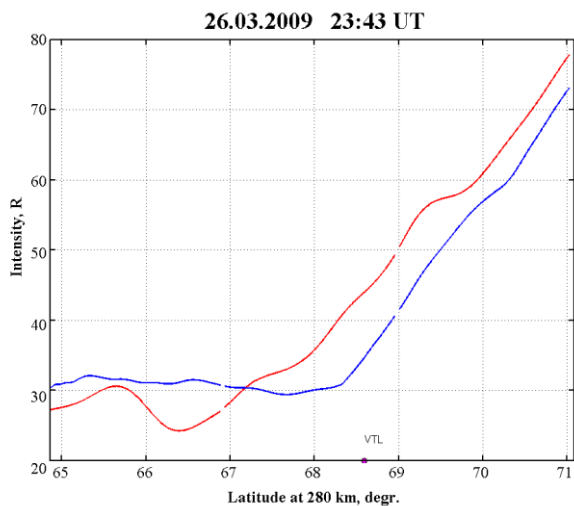


Рис. 5. Сопоставление измеренной интенсивности эмиссии атомарного кислорода в линии 630 нм (красная линия) с интенсивностью свечения, полученному по распределению V_{630} на основе томографической реконструкции N_e

интенсивности эмиссии. Однако, вычисленные по нашей модели величины примерно на 15% меньше в авроральной области, чем измеренные интенсивности эмиссии, что может быть обусловлено

вкладом в возбуждение $O(^1D)$ неучтенных в модели, второстепенных в ночных магнитно спокойных условиях, процессов, например:

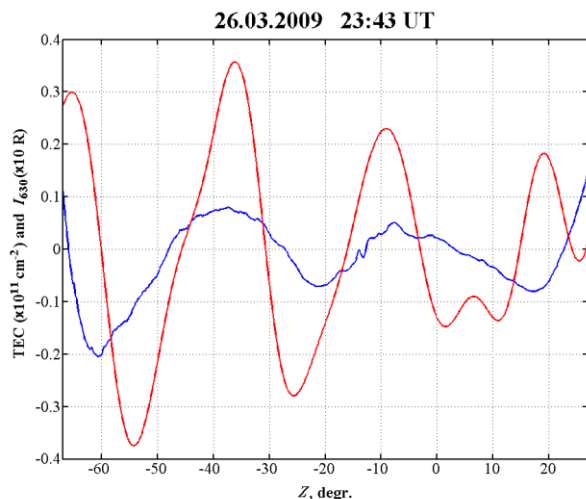
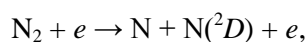


Рис. 6. Сопоставление узкополосных флуктуаций ТЕС (синяя линия) и флуктуаций интенсивности свечения в линии 630 нм для спутникового пролета 26.03.2009 г.

Образующиеся в этих реакциях метастабильные атомы азота в результате взаимодействия с молекулярным кислородом могут приводить к некоторому дополнительному росту концентрации $O(^1D)$. Также расхождение между кривыми связано с волновыми процессами в термосфере в момент проведения наблюдений, которые не могут быть учтены в рамках модели. Волнообразные вариации свечения достаточно четко выражены (рис. 5) в зарегистрированной интенсивности эмиссии южнее зенита станции «VTL».

Наблюдаемые периодические вариации ($\pm 3R$) интенсивности свечения (рис. 6), амплитуда которых примерно в пять раз превосходит флуктуации (длина волны ~ 200 км) полного электронного содержания (ТЕС), могут вызываться модуляцией атмосферных параметров (плотность, температура [23]) распространяющейся из

полярной области акустико-гравитационной волной (АГВ). Среднемасштабные АГВ, как получено из данных спутника Dynamic Explorer 2, часто наблюдаются над полярными регионами на ионосферных высотах как в возмущенных, так и в относительно спокойных геомагнитных условиях [24]. Эти волны, учитывая их систематический характер и локализацию в полярных регионах, могут влиять на процессы энергообмена между магнитосферой, ионосферой и верхней атмосферой.

Выводы

Совместный анализ высотно-широтных реконструкций N_e и скорости объемной эмиссии показывает, что:

Предложенная в данной работе термохимическая модель, входные параметры которой берутся из реальных реконструкций N_e , модели ионосферы IRI-2007 и модели нейтральной атмосферы NRLMSISE-00, позволяет рассчитывать адекватные реальным высотно-широтные профили скорости объемной эмиссии $O(^1D)$ в спокойных ночных условиях.

В спокойных гелиогеофизических условиях основной вклад в возбуждение ионосферной красной кислородной эмиссии на средних широтах вносят реакции диссоциативной рекомбинации. Влияние процесса возбуждения $O(^1D)$ тепловыми электронами в этих условиях постепенно возрастает от средних до авроральных широт.

Распределение электронной температуры, расчет которого основан на томографической реконструкции N_e и зависимости концентрации электронов от температуры согласно эмпирической модели IRI-2007, позволяет достаточно корректно учитывать влияние столкновений атомов кислорода с тепловыми электронами как источник образования $O(^1D)$ вплоть до полярных широт. При этом, даже в области аврорального овала, ионно-химические процессы и тепловое возбуждение $O(^1D)$ преимущественно определяют ночную интенсивность красной эмиссии. Согласно проведенному сравнению (рис. 5) суммарный вклад в возбуждение эмиссии высыпающихся энергичных частиц и солнечного ультрафиолета не превышает 10% от наблюдаемых значений интенсивности свечения в спокойных геомагнитных условиях.

Таким образом, сопоставление модельных расчетов эмиссии с оптическими наблюдениями показало обоснованность вычислений и продуктивность использования радиотомографических

реконструкций N_e для построения ночных высотно-широтных профилей скорости объемной эмиссии $O(^1D)$ с целью исследования источников ее генерации, оценки их влияния на тепловой баланс и химический состав ионосферы в интервале широт размещения цепочки приемных станций.

В работе использованы данные наблюдений РТУ ПГИ КНЦ РАН, полученные в режиме коллективного пользования с поддержкой Министерства образования и науки (ГК № 16.518.11.7100). Авторы благодарны Б.З. Худукону за помощь в обработке радиотомографических данных и подготовке рисунков к статье.

ЛИТЕРАТУРА

1. Yao I.G. Observations of the nightglow / ed. F.E. Roach. London: Pergamon Press. // Ann. IGY. 1962. Vol. 24. 322 p.
2. Smith L.L., Roach F.E., McKennan J.M. IQSY night airglow data // Report UAG-1. Washington, D.C., 1968. 305 p.
3. Евлашина Л.М., Евлашин Л.С. Некоторые особенности возмущений в области F во время полярных сияний красного цвета типа A // Орфология и форма полярной ионосферы / под. ред. Л.С. Евлашина. Л.: Наука, 1971. С. 137–146.
4. Pavlov A.V. Subauroral red arcs as a conjugate phenomenon: comparison of OV1-10 3 satellite data with numerical calculations // Ann. Geophysicae. 1997. 15. 8. P. 984–998.
5. Rees M.H., Luckey D. Auroral Electron Energy Derived From Ratio of Spectroscopic Emissions, 1. Model Computations // J. Geophys. Res. 1974. Vol. 79. P. 5181–5186.
6. Nagy A.F., Cicerone R., Hays P., McWatters K., Meriwether J., Belon A., and Rino C. Simultaneous measurement of ion and neutral motions by radar and optical techniques // Radio Sci. 1974. 9. 2. doi:10.1029/RS009i002p00315.
7. Barbier D. and Glaume J. La couche ionosphérique nocturne F dans la zone intertropicale et ses relations avec l'émission de la raie 6300Å du ciel nocturne // Planet Space Sci. 1962. 9. 133.
8. Tinsley B.A. and Bittencourt J.A. Determinations of F region height and Peak Electron density at night using airglow emission from atomic oxygen // J. Geophys. Res. 1975. 80. 16. P. 2333–2337.
9. Шефлов Н.Н. и др. Излучение верхней атмосферы – индикатор ее структуры и динамики / Н.Н. Шефлов, А.И. Семенов, В.Ю. Хомич. М.: Изд-во ГЕОС, 2006.
10. Andreeva E. S., Kunitsyn V. E., and Tereshchenko E. D. Phase-difference radiotomography of the ionosphere // Ann. Geophysicae 1992. № 10. P. 849–855.
11. Pryse S.E. and Kersley L. A preliminary experimental test of ionospheric tomography // J. Atmos. Terr. Phys. 1992. 54. 1007.1012.
12. Kunitsyn V.E. and Tereshchenko E.D. Ionospheric tomography // Springer-Verlag, Berlin. 2003.
13. Markkanen M., Lehtinen M., Nygrén T., Pirttila J., Henelius P., Vilenius E., Tereshchenko E.D., and Khudukon B.Z. Bayesian approach to satellite radiotomography with applications in the Scandinavian sector // Ann. Geophysicae. 1995. 13. 12. P. 1277–1287.
14. Nygrén T., Markkanen M., Lehtinen M., Tereshchenko E. D., and Khudukon B.Z. Stochastic inversion in ionospheric radiotomography // Radio Science. 1997. 32. P. 2359–2372.
15. Pavlov A.V. Subauroral red arcs a conjugate phenomenon: comparison of OV1 – 10 satellite data with numerical calculation // Ann. Geophysicae 1997. 15. 8. P. 984–998.
16. Bates D.W., Smith L.L., and Klockner E.W. Corrected observations of the equatorward diffuse auroral boundary // J. Geophys. Res. 1982. A2. 85. P. 531–542.
17. Rees M. H., Walker J. C. G., and Dalgarno A. Auroral excitation of the forbidden lines of atomic oxygen // Planet. Space Sci. 1967. Vol. 15, № 7. P. 1097.
18. Doering J.P. and Gulcicek E.E. Absolute differential and integral electron excitation cross-sections for atomic oxygen. 9. Improved cross-section for the $^3P - ^1D$ transition from 4.0 to 30 eV // J. Geophys. Res. 1992. 97. 12. P. 19531.
19. Павлов А.В. и др. Скорости образования $O(^1D)$, $O(^1S)$ и $N(^2D)$ в области субавроральных красных дуг / А.В. Павлов, Н.М. Павлова, А.Б. Дроздов // Геомаг. и аэрномия. 1999. Т. 39, № 2. С. 72–76.
20. Tereshchenko E.D., Khudukon B.Z., Gurevich A.V., Zybin K.P., Frolov V.L., Myasnikov E.N., Muravieva N.V. and Carlson H.C. Radiotomography and scintillation studies of ionospheric electron density modification caused by a powerful HF-wave and magnetic zenith effect at mid-latitudes // Physics Letters A. 2004. 325. P. 381–388.
21. Slater D.W., Smith L.L., Klockner E.W. Correlated observations of the equatorward diffuse auroral boundary // J. Geophys. Res. 1980. Vol. 85, A2. P. 531–542.
22. Noxon J.F., Goody R.M. Observation of day airglow emission // J. Atmos. Sci. 1962. Vol. 19, № 4. P. 342–343.
23. Федоренко А.К. Энергетический баланс акустико-гравитационных волн над полярными шапками по данным спутниковых измерений // Геомаг. и аэрномия. 2010. Т. 50, № 1. С. 111–122.
24. Johnson F.S., Hanson W.B., Hodges R.R., Coley W.R., Carignan G.R., Spencer N.W. Gravity Waves Near 300 km Over the Polar Caps // J. Geophys. Res. 1995. Vol. 100, 12. P. 23993–24002.

Сведения об авторах

Терещенко Евгений Дмитриевич – д.ф.-м.н., директор; e-mail: general@pgi.ru

Туранский Владимир Александрович – научный сотрудник; e-mail: vtur@pgi.ru

Юрик Роман Юрьевич – к.ф.-м.н., научный сотрудник; e-mail: roman.yurik@pgi.ru

НАБЛЮДЕНИЕ ИСКУССТВЕННОГО РАДИОИЗЛУЧЕНИЯ ИОНОСФЕРЫ В ВЫСОКИХ ШИРОТАХ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ РЕЖИМАХ РАБОТЫ НАГРЕВНОГО СТЕНДА

Е.Д. Терешенко¹, Р.Ю. Юрик¹, Л. Бэддли²

¹Полярный геофизический институт КНЦ РАН

²Факультет геофизики, Университетский центр на Свалбарде (UNIS)

Аннотация

Представлены результаты радиоинтерферометрических наблюдений искусственного радиоизлучения ионосферы (ИРИ) в высоких широтах. Искусственное радиоизлучение ионосферы наблюдалось во время нагревных экспериментов на нагревной установке SPEAR (Space Plasma Exploration by the Active Radar) в 2010 и 2011 годах. Результаты, полученные при различных режимах работы SPEAR, демонстрируют генерацию характерных пондеромоторных и тепловых форм спектра ИРИ, указывающих на действие в ионосфере различных нелинейных процессов, возникающих из-за ее искусственной модификации. Показано, что тепловые формы спектра ИРИ генерируются и при низких коэффициентах заполнения излучения в условиях предварительного нагрева ионосферной плазмы естественными процессами. Радиоинтерферометрические измерения углов прихода сигналов ИРИ показали, что различные формы спектров генерируются в различных пространственных областях. Отличия во времени возбуждения искусственного радиоизлучения ионосферы в высоких широтах от результатов полученных на других установках может быть обусловлено как низкой мощностью нагревной установки SPEAR, так и возможным дрейфом плазмы в электрическом поле конвекции.

Ключевые слова:

ионосфера, искусственное радиоизлучение ионосферы, турбулентность, модификация ионосферы, нагревный стенд, коротковолновый интерферометр.



Введение

В основе экспериментальных исследований физики ионосферной плазмы методом искусственного воздействия на нее радиоволнами лежит возможность вызывать достаточно сильные локальные возмущения распределения электронной концентрации, используя сравнительно слабоинтенсивное

воздействие [1]. Для исследования этих нелинейных процессов в ионосферной плазме применяются самые различные диагностические методы с использованием когерентных и некогерентных радаров, радиопросвечивания возмущенной области ионосферы спутниковыми сигналами, регистрации искусственных свечений в оптическом диапазоне и др. в том числе и прямых измерений путем зондирования ионосферы ракетами и спутниками [1, 2].

В 1981 г. с использованием нагревной установки EISCAT было открыто слабое нетепловое излучение ионосферной плазмы, возникающее в результате ее накачки электромагнитным излучением нагревного стенда и занимающее полосу частот около 100–200 кГц вокруг отраженной от ионосферы волны накачки [3]. Открытое явление получило название искусственного радиоизлучения ионосферы.

В ходе экспериментов по искусственной модификации ионосферы ИРИ наблюдается наземными методами с использованием широкополосной регистрирующей аппаратуры коротковолнового диапазона с высоким динамическим диапазоном, так как наблюдаемый сигнал стимулированного излучения обычно на 60–70 дБ ниже по интенсивности отраженного от ионосферы сигнала волны накачки. За прошедшие 30 лет проведено большое количество исследований ИРИ как теоретических, так и экспериментальных с использованием нагревных установок расположенных в России, США и Норвегии. Подробно исследованы морфология искусственного радиоизлучения ионосферы [2], а также его динамика [4–6].

Проведенные исследования позволили разделить наблюдаемые спектральные особенности ИРИ на «быстрые» и «медленные» составляющие спектра [2]. К «быстрым» (пондеромоторным) компонентам ИРИ относятся спектральные особенности искусственного излучения, которые генерируются в результате возбуждения электростатических плазменных колебаний на высотах близких к высоте отражения волны накачки. Спектральные компоненты ИРИ, возникающие на высотах верхнего гибридного резонанса в результате реструктуризации плазмы и образования в ней плазменных неоднородностей вытянутых вдоль силовых линий геомагнитного поля, носят название «медленных» или тепловых спектральных компонент ИРИ. Интенсивность, характер и временная эволюция спектральных характеристик ИРИ тесно связана с характеристиками ионосферной плазмы, а также локальных электрических и магнитных полей [7].

Долгое время исследования ИРИ проводились преимущественно амплитудными методами, в результате чего пространственные характеристики излучения остались неизученными. Поляризационные наблюдения сигнала искусственного излучения показали его сложную структуру, но носили эпизодический характер и поэтому поставили больше вопросов, чем дали ответов [8]. Существенным развитием в исследовании пространственных характеристик искусственного радиоизлучения ионосферы стала разработка в начале 2000-х Полярным геофизическим институтом метода и коротковолновой аппаратуры для измерения наблюдаемых сигналов с применением фазоразностной интерферометрии. Интерферометрические наблюдения ИРИ позволили определить направление прихода и другие характеристики сигналов ИРИ с высоким временным и частотным разрешением [9, 10]. Позже коротковолновая интерферометрическая установка ПГИ КНЦ РАН успешно использовалась в ходе нагревных кампаний на установках «Сура», EISCAT и SPEAR.

До введения в эксплуатацию нагревного стенда SPEAR, расположенного на арх. Шпицберген [11], все исследования нелинейных явлений искусственной модификации ионосферы ограничивались авроральной областью. Хотя нагревная установка SPEAR обладает малой мощностью, она является уникальной, так как ее положение позволяет проводить исследования ионосферной плазмы высоких широт, для которой характерны большая изменчивость и неоднородность структуры. Первые наблюдения искусственного радиоизлучения ионосферы, связанного с воздействием на ионосферу нагревного стенда SPEAR, показали, что даже малой мощности этой установки достаточно для того, чтобы в благоприятных ионосферных условиях генерировалось искусственное радиоизлучение ионосферы, и наблюдались стационарные составляющие спектра этого излучения [12].

Методика исследований

После успешной регистрации искусственного радиоизлучения, генерируемого в результате воздействия на ионосферу нагревной установки SPEAR, ставилась задача исследовать структуру спектра стимулированного коротковолнового излучения искусственно модифицированной ионосферы, а также его зависимость от режима работы нагревной установки.

Эксперименты проводились в период с 11 по 18 октября 2010 г. и 14–18 ноября 2011 на арх. Шпицберген. Нагрев велся в направлении силовых линий геомагнитного поля (диаграмма направленности передающей антенны отклонялся от вертикали на 8° к югу в плоскости геомагнитного меридиана), а также в географический зенит. Эффективная излучаемая мощность нагревного стенда SPEAR составляла 12 МВт. Следует отметить, что диаграмма направленности антенной системы установки SPEAR по уровню мощности -3 дБ представляет собой эллипс, ширина которого на частоте 4.45 МГц составляет 14° вдоль малой оси и 21° вдоль большой оси. Таким образом, при ориентации диаграммы вертикально вверх, часть излучения попадает в область магнитного зенита, а при ориентации вдоль силовых линий геомагнитного поля – в географический зенит.

Регистрация сигнала искусственного радиоизлучения велась циклами по 8 секунд. Для сравнительного анализа использовались временные выборки длительностью 280 мс, которые разбивались на 16 сегментов по которым, с целью сглаживания, проводилось усреднение с применением окна Блэкмана — Харриса. Анализ спектров искусственного радиоизлучения ионосферы проводился по спектральной плотности мощности (СПМ), приведенной к входу системы цифровой обработки сигнала, квадрату модуля когерентности (КМК) смежных каналов радиоинтерферометрической установки, а также по разности фаз между каналами, рассчитанным методом многоканального спектрального оценивания [10, 13].

Результаты

На верхней панели рис. 1 представлены спектральные плотности мощности (I) наблюдавшихся сигналов ИРИ 11 (справа) и 13 (слева) октября 2010 г., а на нижней – соответствующие значения квадрата модуля когерентности (C). Спектральная мощность указана для наблюдений проводившихся одним из каналов аппаратного комплекса коротковолнового интерферометра (восточный канал), а квадрат модуля когерентности рассчитан по двум каналам, подключенным к антеннам, расположенным в зональной плоскости (запад – восток). Характеристики спектров ИРИ показаны в полосе отстроек от -60 кГц до $+20$ кГц от волны накачки, частота которой в данных экспериментах была 4.45 МГц. Красным цветом на графиках спектральной плотности мощности указаны отдельные спектральные составляющие ИРИ. Одиннадцатого октября в $13:28$ UT нагрев ионосферы велся прямоугольными импульсами длительность 1 мин, после чего следовала пауза в излучении нагревного стенда такой же продолжительностью, 13 октября в $13:40$ UT нагрев велся короткими импульсами длительность 1 с, которые повторялись каждые 15 секунд.

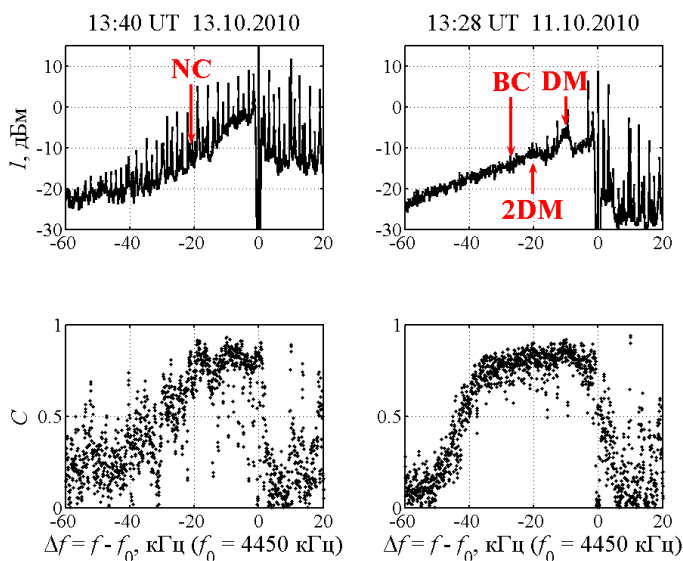


Рис. 3. Наблюдения искусственного радиоизлучения ионосферы 11 и 13 октября 2010 г.

узкополосной составляющей спектра расположенный на частоте гармоники главного максимума ($2DM$ на частоте отстройки $\Delta f_{2DM} = -20$ кГц). Спектр обладает выраженной характерной асимметрией (сигнал в области отрицательных отстроек по частоте интенсивней, чем сигнал в симметрично расположенной области положительных отстроек).

При нагреве ионосферы короткими импульсами (13.10.2010 – слева на рис. 1) форма спектра сигнала ИРИ имеет менее выраженную асимметрию областей отрицательных и положительных отстроек, а наблюдаемый максимум широкополосного сигнала NC (narrow continuum) смещен от частоты волны накачки на 7 кГц в сторону отрицательных отстроек.

Квадрат модуля когерентность сигнала ИРИ, при нагреве длительными импульсами, сохраняет высокие значения до частот отстройки -40 кГц, после чего резко убывает (рис. 1, внизу справа), в то время как при нагреве короткими импульсами высокие значения КМК наблюдаются только в узкой полосе вблизи максимуму NC (рис. 1, внизу слева).

Частотный градиент мощности широкополосного сигнала BC 11.10.2010 г. практически не меняется в интервале занимаемых частот, в то время как широтный градиент широкополосного сигнала NC 13.10.2010 г. отчетливо убывает с удалением от максимума. Из сравнения графиков КМК (рис. 1, нижняя панель) видно, пондеромоторная форма спектр ИРИ занимает более узкую полосу частот по сравнению со стационарной формой спектра и обладает более низкой когерентностью сигнала.

На следующем рис. 2, в том же виде, что и на рис. 1, показаны результаты наблюдения ИРИ 18.11.2011 г. при режиме работы нагревной установки $SPEAR$ аналогичном эксперименту 13.10.2010 г., за исключением ориентации диаграммы направленности антенной системы. Нагрев велся односекундными импульсами, каждые 15 сек. в направлении географического зенита (вертикально вверх). При этом, в

Следует отметить, что абсолютные значения СПМ в двух случаях сравнивать сложно, так как ионосферные условия в эти дни отличались, а, следовательно, на наблюдаемые интенсивности влияли различные условия распространения сигнала ИРИ от возмущенной области до приемной антенны. С целью оптимизировать измерения искусственного радиоизлучения сигнал отраженной от ионосферы волны накачки подавлен включенным на входе приемника режекторным фильтром.

Сравнивая формы спектров, наблюдавшиеся в двух случаях видно, что при нагреве ионосферы более продолжительными импульсами в спектре искусственного радиоизлучения наблюдаются широко-полосный сигнал BC (broad continuum) и сигнал главного спектрального максимума DM (downshifted maximum на частоте отстройки $\Delta f_{DM} = -10$ кГц). В спектре также виден слабый сигнал

течение практически всей серии с 14:10 UT по 14:25 UT, наблюдалась стационарная форма спектра ИРИ (рис. 2, справа) за исключением короткого интервала в 14:18 UT когда форма спектра носила пондеромоторный характер (рис. 2, слева).

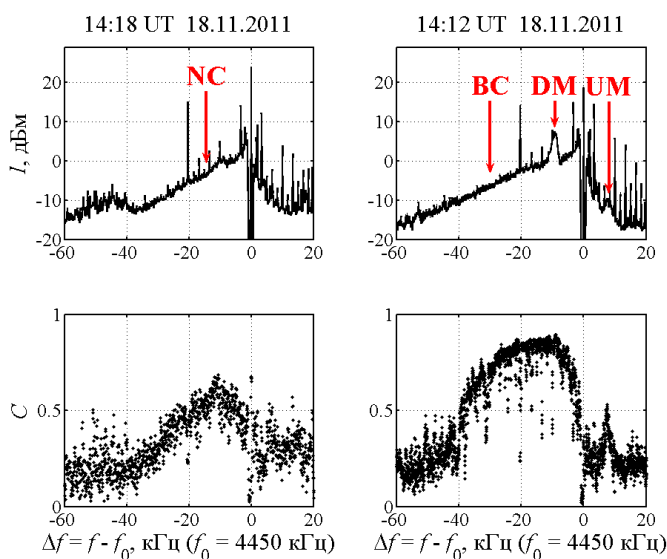


Рис. 4. Наблюдения искусственного радиоизлучения ионосферы 18 ноября 2011 г.

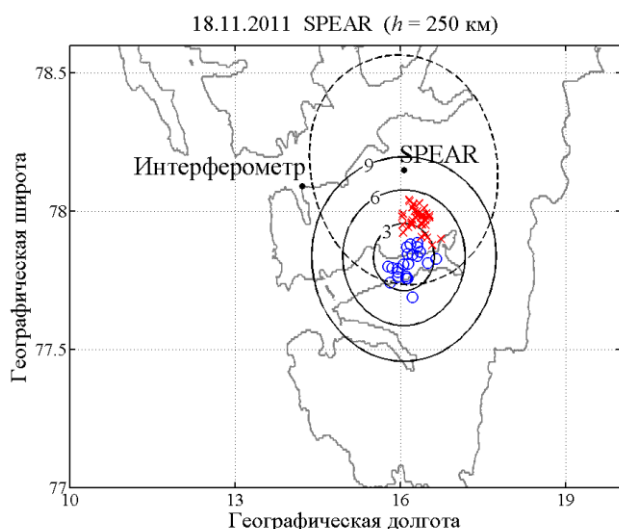


Рис. 5. Проекция углов прихода сигнала ИРИ на ионосферный уровень по данным наблюдений 18 ноября 2010 г.

окружности сплошной линией).

На рис. 3 видно, что положение источника генерации тепловых составляющих ИРИ локализовано вблизи магнитного зенита (0° между направлением излучения установки и касательной к силовой линии геомагнитного поля), в то время как источник пондеромоторных составляющих спектра находится вблизи пика ракурсного угла. Различия в положении источников генерации ИРИ подтверждает разные механизмы генерации пондеромоторных и тепловых форм спектра.

Обсуждение

Представленные результаты наблюдений различных спектральных форм ИРИ при работе нагревной установки SPEAR, полученные в ходе нагревной кампании октября 2010 г., хорошо согласуются с известной морфологией ИРИ и результатами, полученными ранее на нагревной установке EISCAT вблизи г. Тромсе. Важным отличием результатов наблюдений ИРИ на арх. Шпицберген от результатов, полученных для ионосферы более низких широт, является высокая

В стационарной форме спектра наблюдались характерные составляющие DM ($\Delta f_{DM} = -9.4$ кГц) и UM ($\Delta f_{UM} = 7.5$ кГц), а также широкополосный сигнал BC, достигающий -60 кГц при этом линейный участок КМК принимаемого сигнала заканчивается на -30 кГц. В пондеромоторной форме спектра спектральные максимумы отсутствуют, а широкополосный сигнал NC в области отрицательных отстроек по частоте достигает только -40 кГц. Различия между значениями КМК различных форм спектра повторяют результаты наблюдений в октябре 2010 г. Слабый максимум вблизи $-10 \div -11$ кГц в пондеромоторной форме спектра может носить как характер остаточного излучения DM, так и максимума NC. Отличия между пондеромоторной и стационарной формой спектра ИРИ видны по присутствию излучения UM составляющей, которая отчетливо различима в графике КМК (рис. 2 внизу справа), а также в пространственных характеристиках источника излучения, полученного в результате проекции измеренных углов прихода ИРИ на ионосферный уровень (рис. 3)

На рис. 3 в географической системе координат показана проекция измеренных углов прихода на ионосферный уровень 250 км. Красными перекрестиями отмечены положения источника ИРИ соответствующие пондеромоторной форме спектра, а синими кругами – стационарной форме спектра. Дополнительно на рисунке показаны диаграмма направленности главного лепестка передающей антенны по уровню мощности -3 дБ от максимальной (штриховой овал) и значения угла между направлением излучения нагревной установки и касательной к силовой линии геомагнитного поля (концентрические

изменчивость ионосферы, обусловленная дрейфом плазмы под действием электрического поля конвекции, высыпаниями энергичных частиц, джоулевым нагревом и т.п. Так, результаты, полученные при сходных режимах работы нагревной установки SPEAR в ноябре 2011 г., показали, что, не смотря на использование режимов с низким коэффициентом заполнения излучения, ионосферная плазма излучает сигналы соответствующие характерным формам стационарных спектров ИРИ. Различия механизмов генерации разных форм спектра ИРИ подтверждается разной пространственной локализацией источников искусственного излучения. Источники спектральных форм стационарного излучения локализуются в области магнитного зенита, где эффективность коротковолнового нагрева выше [14, 15], а источники пондеромоторного излучения - вблизи пика ракурсного угла, где выше мощность излучения нагревной установки.

За генерацию тепловых компонент спектра ИРИ ответственны неоднородности с поперечными масштабами менее 20 м, генерируемые в результате диссипации энергии волны накачки в области верхнего гибридного резонанса [2]. В условиях предварительно разогретой ионосферной плазмы и присутствия естественной ионосферной турбулентности, воздействия нагревной установки в режиме импульсного нагрева с низким коэффициентом заполнения (менее 10%) оказывается достаточным для генерации ионосферного излучения.

Присутствие естественных ионосферных неоднородностей с поперечными масштабами более 30 м подтверждается данными радиотомографической установки ПГИ КНЦ РАН (РТУ ПГИ КНЦ РАН), полученными в отсутствие нагрева 15:14 UT 13.10.2010 и 16:04 UT 18.11.2011. Согласно анализу мерцаний спутниковых сигналов индексы сцинтилляций S_4 принимают значения 1.5 и 1.6 соответственно в 2010 и 2011 гг. В спектрах амплитудных мерцаний выделяются полосы с частотами 2–9 Гц и более высокочастотные (свыше 10 Гц), соответствующие естественным ионосферным неоднородностям с более мелкими масштабами.

Таким образом, в высокоширотной ионосфере (арх. Шпицберген) условия предварительной накачки плазмы могут создаваться в результате воздействия естественных процессов. Значительную роль в формировании ионосферных явлений играют процессы переноса плазмы из-за действия высокоширотного электрического поля конвекции, которые могут приводить как нагреву, так и к остыванию ионосферной плазмы в области воздействия волны накачки.

Выводы

Сравнительный анализ спектров искусственного радиоизлучения ионосферы, наблюдавшихся в ходе эксперимента в высоких широтах с использованием нагревного стенда SPEAR, показал, что при длительности нагревных импульсов менее 10% от временного цикла работы нагревного стенда, наблюдаются характерные пондеромоторные формы спектра, что говорит об отсутствии или незначительности тепловых эффектов искусственной модификации ионосферы. При увеличении длительности излучения нагревного стенда до 50% от времени цикла работы наблюдаемые спектры искусственного излучения трансформируются в стационарные тепловые формы, что говорит о структурировании ионосферной плазмы и генерации искусственных ионосферных неоднородностей метровых масштабов. Тепловые формы спектра искусственного радиоизлучения ионосферы наблюдаются и при нагреве короткими импульсами в случае генерации ионосферной турбулентности из-за действия естественных процессов.

Различия в характерных временах возбуждения пондеромоторных и тепловых компонент спектра искусственного излучения ионосферы в высоких широтах может быть обусловлено малой излучаемой мощностью нагревного стенда SPEAR, а также возможным дрейфом плазмы под действием электрического поля конвекции. Более точное установление режимов и условий, при которых происходит переход характера спектра ИРИ от одной формы к другой, является актуальным в высокоширотных исследованиях.

В работе использованы данные наблюдений РТУ ПГИ КНЦ РАН, полученные в режиме коллективного пользования с поддержкой Министерства образования и науки (ГК № 16.518.11.7100). Работы д-ра Л. Бэддли и нагревной установки SPEAR выполнены при поддержке Совета по научным исследованиям Норвегии (грант № 191628).

ЛИТЕРАТУРА

1. Гуревич А.В. Нелинейные явления в ионосфере // УФН. 2007.Т. 177. С. 1145–1177. 2. Leyser T.B. Stimulated electromagnetic emissions by high frequency electromagnetic pumping of the ionospheric plasma // Space Sci. Rev. 2001. Vol. 98 P. 223–328. 3. Thidé, B., Kopka, H., and Stubbe, P. Observations of Stimulated Scattering of a Strong

High Frequency Radio Wave in the Ionosphere // Phys. Rev. Lett. 1982. Vol. 49. P. 1561–1564. **4.** Frolov V.L., Komrakov G.P., Sergeev E.N., Thide B., Waldenvik M., and Veszelei E. Results of the Experimental Study of Narrow Continuum Features in Stimulated Ionospheric Emission Spectra // Radiophys. Quantum Electron. 1997. 40. 731–744. **5.** Sergeev E.N., Frolov V.L., Boiko G.N., and Komrakov G.P. Results of Investigation of the Langmuir and Upper-Hybrid Plasma Turbulence Evolution by Means of Stimulated Ionospheric Emission // Radiophys. Quantum Electron. 1998. 41. 206–228. **6.** Waldenvik M. The Dynamics of Electromagnetic Radiation from an HF Perturbed Space Plasma // in IRF Sci. Rep. 216, S-755 91 Uppsala, Sweden, Swedish Institute of Space Physics, Uppsala Division. 1994. **7.** Трансформация спектров искусственного радиоизлучения ионосферы высоких широт при изменении режима работы нагревного стенда / Е.Д. Терещенко, Р.Ю. Юрик, С.А. Шадрин, Б. Айшем, Л. Бадделей, М.Т. Ритвальд // XXIII Всерос. науч. конф. «Распространение радиоволн», г. Йошкар-Ола, 23-26 мая, 2011: сб. докл.: в 3-х т. Йошкар-Ола: МарГТУ, 2011. Т. 2. С. 305–308. **8.** Carozzi T.D., Thide B., Leyser T.B., Komrakov G.P., Frolov V.L., Grach S.M., and Sergeev E.N. Full polarimetry measurements of stimulated electromagnetic emissions: First results. // J. Geophys. Res. 2001. Vol. 106(A10). P. 21395–21408. **9.** Isham B., Hagfors T., Khudukon B., Yurik Yu. R., Tereshchenko E. D., Rietveld M. T., Belyey V., Grill M., La Hoz C., Brekke A., and Heinselman C. An interferometer experiment to explore the aspect angle dependence of stimulated electromagnetic emission spectra // Ann. Geophysicae. 2005. Vol. 23. P. 55–74. **10.** Tereshchenko E. D., Yurik R. Yu., Khudukon B. Z., Rietveld M. T., Isham B., Belyey V., Brekke A., Hagfors T., and Grill M. Directional features of the downshifted peak observed in HF-induced stimulated electromagnetic emission spectra obtained using an interferometer // Ann. Geophysicae. 2006. Vol. 24. P. 1819–1827. **11.** Wright D.M., Davies J.A., Robinson T.R., Chapman P.J., Yeoman T.K., Thomas E.C., Lester M., Cowley S.W.H., Stocker A.J., Horne R.B., Honary F. Space Plasma Exploration by Active Radar (SPEAR): An overview of a future radar facility // Ann. Geophys. 2000. 18, 1248–1255. **12.** Терещенко Е.Д., Юрик Р.Ю. и др. Первые наблюдения искусственного радиоизлучения ионосферы при воздействии на ионосферу нагревным стендом SPEAR на архипелаге Шпицберген / Е.Д. Терещенко, Р.Ю. Юрик, Т.К. Йоман, Т.Р. Робинсон // Изв. Вузов. Радиофизика. 2008. Т. 51, № 11. С. 951–955. **13.** Марпл. мл. С.Л. Цифровой спектральный анализ и его приложения: пер. с англ. М.: Мир, 1990 584 с. **14.** Tereshchenko E.D., Khudukon B.Z., Gurevich A.V., Zybin K.P., Frolov V.L., Myasnikov E.N., Muravieva N.V., Carlson H.C. Radio tomography and scintillation studies of ionospheric electron density modification caused by a powerful HF-wave and magnetic zenith effect at mid-latitudes // Physics Letters. 2004. A 325. P. 381–388. **15.** Tereshchenko E.D., Milichenko A.N., Frolov V.L. and Yurik R. Yu. Observations of the magnetic-zenith effect using GPS/GLONASS satellite signals // Radiophysics and Quantum Electronics. 2008. Vol. 51, № 11. P. 842–846.

Сведения об авторах

Терещенко Евгений Дмитриевич – д.ф.-м.н., директор; e-mail: general@pgi.ru

Юрик Роман Юрьевич – к.ф.-м.н., научный сотрудник; e-mail: roman.yurik@pgi.ru

Бэддли Лиза – д-р, научный сотрудник SPEAR; e-mail: lisa.baddeley@unis.no

ОСОБЕННОСТИ БИОЛОГИИ БОКОПЛАВА *ISCHYROCERUS COMMENSALIS*, СИМБИОНТА КАМЧАТСКОГО КРАБА В ГУБЕ САЙДА (БАРЕНЦЕВО МОРЕ)

А.Г. Дворецкий, В.Г. Дворецкий

Мурманский морской биологический институт КНЦ РАН

Аннотация

Исследованы особенности биологии амфиподы *Ischyrocerus commensalis*, массового симбионта камчатского краба в губе Сайда (Баренцево море). Экстенсивность заселения составила в сентябре 2004 г. 10.9%, в мае–июне 2005 г. – 8.7%. Средняя интенсивность заселения в сентябре равнялась 17.1 экз., в мае–июне – 4.1 экз. Самки встречались чаще, чем самцы. В сентябре основную долю рачков составляли ювенильные особи с длиной тела менее 2 мм (30.6%). В мае–июне в популяции преобладали взрослые особи с длиной тела 6.1–7.0 мм (24.7%) и 8.1–9.0 мм (29.9%). В сентябре 2004 г., в сезон размножения, в популяции доминировали икранные самки. В конце мая – начале июня 2005 г. самки поздних стадий зрелости отсутствовали. Наблюдаемые различия связаны с сезонностью размножения амфипод. Индивидуальная абсолютная плодовитость в сентябре 2004 г., варьировала от 14 до 63 (в среднем 26 ± 13) икринок, в конце мая – начале июня 2005 г. – от 4 до 49 (25 ± 10) икринок. Отмечена линейная зависимость между индивидуальной плодовитостью и длиной тела самок *I. commensalis*.

Ключевые слова:

камчатский краб, симбиотические амфиподы, Баренцево море.



Камчатский краб *Paralithodes camtschaticus* (Tilesius, 1815) – крупный промысловый вид десятиногих ракообразных, обитающий на сравнительно небольших глубинах. В 1960-х гг. были проведены мероприятия по интродукции камчатского краба в Баренцево море [1]. Первая поимка взрослого краба после вселения отмечена в 1974 г. С течением времени количество находок краба в новом месте обитания росло, а к середине 1990-х гг. стало возможным говорить о формировании новой (баренцевоморской) популяции [1].

Промысел данного вида в российских водах Баренцева моря начат в 2004 г. [2].

Одним из ключевых аспектов жизнедеятельности морских организмов является формирование симбиотических ассоциаций. Это особенно важно, когда речь идет об интродуцированных видах, которые могут приносить в экосистему чужеродные элементы (ассоциированные организмы) из нативного ареала своего обитания [3] или же, вести к вспышкам численности аборигенных животных или растений, для которых вселенный вид становится подходящим хозяином. В Баренцевом море проводились исследования паразитофауны камчатского краба [1, 4]. Описаны основные паразиты камчатского краба, а также изучены некоторые черты биологии ряда массовых комменсалов [1, 4].

Амфипода *Ischyrocerus commensalis* Chevreaux, 1900 – широко распространенный бореально-арктический вид. Встречается в прибрежных районах Ньюфаундленда, Лабрадора, юго-восточной Гренландии, Карского, Белого и Охотского морей [5–7]. В Баренцевом море также отмечались находки данного вида. Литературные данные о биологии *I. commensalis* крайне скудны, они ограничиваются общими сведениями о географическом распространении *I. commensalis* и разрозненными сведениями о размерах особей [5–8].

Ранее была получена информация о том, что данный вид формирует ассоциации с различными видами ракообразных, в частности с крабами-брахиурами *Hyas araneus* в водах Северной Норвегии [9] и *Chionoecetes opilio* у о-ва Ньюфаундленд [10]. *Ischyrocerus commensalis* был зарегистрирован на камчатском крабе в норвежской и российской частях Баренцева моря [1, 11] и в Охотском море [12]. Однако ни в одной из цитируемых здесь работ не приводятся сведения о биологии *I. commensalis*. Представлена лишь краткая информация о величине индексов заселенности крабов данными амфиподами и приведены общие сведения об их локализации на теле хозяев.

Данная работа была проведена, чтобы проанализировать некоторые важные черты биологии *Ischyrocerus commensalis*, включая размерный состав, морфометрические показатели и особенности размножения в губе Сайда.

Материалы и методы

Район исследования. Губа Сайда расположена в северном колене Кольского залива, являясь его поперечным ответвлением по западному борту (33°15' в.д.). Напротив входа в губу Сайда расположен подводный порог с минимальной глубиной 104 м. Грунт по его верхнему горизонту (0–5 см) представлен тонкими илистыми осадками, сильно обводненный с присутствием неокатанного гравийно-галечного материала до 20 см в диаметре. Следующий горизонт представлен тонкозернистым осадком черного цвета, образованным отходами нефтепродуктов, с большим содержанием неокатанного гравийно-галечного материала диаметром до 15 см [13, 14].

По имеющимся данным, для всего северного колена Кольского залива характерны средние годовые температуры на уровне +0.4 °С [15]. Годовой минимум температуры поверхностного слоя приходится на март и составляет +1 °С. От апреля к июню температура поверхностного слоя повышается до 10 °С. Соленость в губе Сайда составляет в среднем 34‰ за счет того, что прибрежная ветвь Нордкапского течения переносит слабо трансформированные атлантические воды с соленостью 34–34.5‰. В зимне-весенний период соленость на глубине 10–25 м остается близкой к 34‰, летом понижается не более чем до 32‰. Ледообразование в губе Сайда начинается уже в ноябре, а к середине декабря в кутовой части губы устанавливается сплошной ровный лед толщиной до 15 см. К концу апреля ледовый покров устанавливается на 1/3 акватории губы. В апреле же происходит начало оттаивания припая, а полное очищение ото льда – к середине мая. Глубина дна в губе Сайда достигает 100–140 м, а местами до 190 м. В конце весны соленость донного слоя воды составляет 34.1–34.3‰, а температура +2.2...+2.8 °С [13, 14].

Сбор симбионтов и их анализ. Материал был отобран в ходе работ по исследованию биологии камчатского краба на экспериментальном полигоне ММБИ "Красные камни" в сентябре 2004 г. и конце мая – начале июня 2005 г. Для отлова крабов использовали стационарные ставные ловушки конической формы с диаметром ячеи 60 мм, приманка – сельдь, время застоя – 1 сутки. Порядок включал от 2 до 8 ловушек. Глубины – около 35 м и около 70 м.

Непосредственно после отлова крабов и доставки их на берег производили обработку крабов по стандартной методике [16]. Животных измеряли и взвешивали.

С каждого краба отбирали ассоциированных организмов. Отобранный материал фиксировали в 4%-м растворе формальдегида, нейтрализованного тетраборатом натрия, для дальнейшего лабораторного анализа, который включал видовую идентификацию, измерение и взвешивание животных. Обработку биологических проб производили при помощи бинокулярного микроскопа МБС–10 (увеличение 32х, 16х, 8х), взвешивание – на торзионных или электронных весах.

В качестве характеристик заселенности камчатских крабов симбионтами использовали следующие показатели: экстенсивность заселения – отношение количества хозяев, заселенных симбионтами, к общему количеству исследованных крабов и средняя интенсивность – отношение общего количества симбионтов в пробах к количеству заселенных хозяев [17].

Камеральная обработка амфипод, помимо измерения (длина тела от переднего края головы до заднего края тельсона) и взвешивания, включала определение пола животного. У самок определяли стадию зрелости [18]: стадия 0 – без признаков развития овикулов, без яиц и марсупиальных пластин; стадия 1 – рост марсупиальных пластин, без мерул; стадия 2 – с икрой в марсупиуме; стадия 3 – в марсупиуме молодь; стадия 4 – марсупиальная сумка есть, молодь ее покинула.

Степень зрелости половых продуктов (икры) определяли по следующим стадиям [19]: стадия I – яйца без признаков сегментации; стадия II – яйца на стадии дробления; стадия III – под оболочкой икринки почти сформировавшаяся ювенильная особь.

Абсолютную индивидуальную плодовитость амфипод определяли прямым подсчетом количества яиц в марсупиальной сумке. Учитывались только самки с ненарушенными кладками.

Статистический анализ данных проводили по стандартным методикам [20].

Результаты

За период исследований отловлено 730 особей краба: 134 самца и 162 самки в 2004 г., 214 самцов и 220 самок в 2005 г. Размерный состав проанализированных крабов представлен на рис. 1.

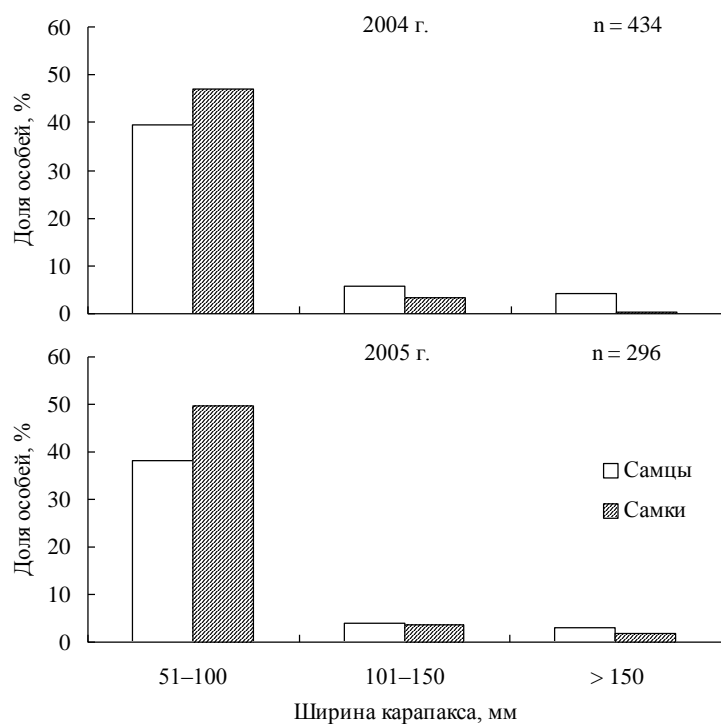


Рис. 1. Размерный состав уловов камчатского краба в губе Сайда в 2004 и 2005 гг.

В губе Сайда *Ischyrocerus commensalis* – второй по встречаемости вид, отмеченный на камчатских крабах. Экстенсивность заселения составила в сентябре 2004 г. – 10.9%, в мае-июне 2005 г. – 8.7%, различия недостоверны ($df = 1$, $\chi^2 = 0.818$, $p = 0.366$). Средняя интенсивность заселения в сентябре равнялась 17.1 экз., в мае-июне 4.1 экз., различия достоверны ($df = 1$, $N = 51.986$, $p < 0.001$).

За период исследований проанализировано 309 особей *Ischyrocerus commensalis*. Самки встречались чаще, чем самцы, при этом достоверные отличия в распределении особей от уровня 1:1 были отмечены для 2005 г. и в целом за весь период исследований.

Размерный состав амфипод *I. commensalis* представлен на рис. 2.

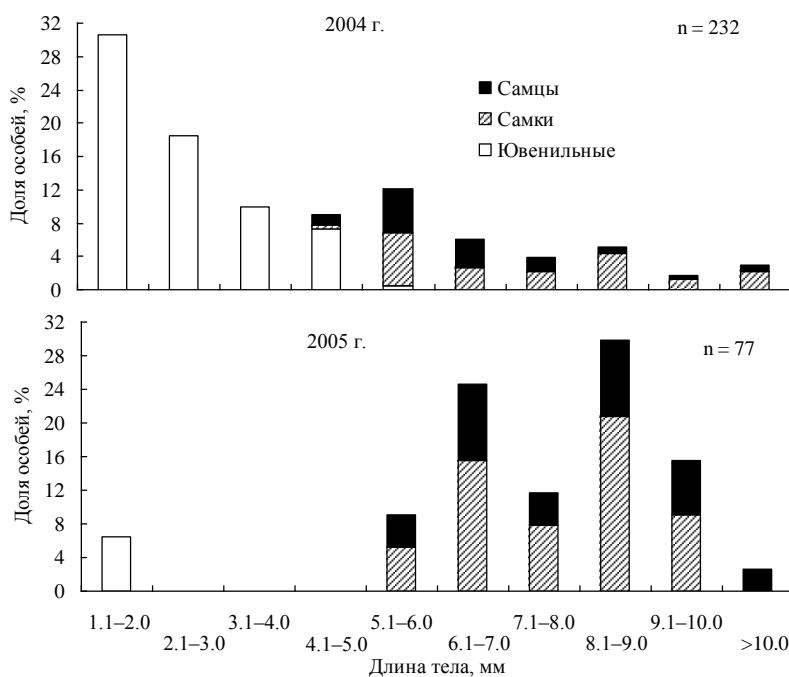


Рис. 2. Размерный состав амфипод *Ischyrocerus commensalis* в губе Сайда в 2004 и 2005 гг.

В 2004 г. основную долю рачков составили ювенильные особи с длиной тела до 2 мм (30.6%), примерно столько же было отмечено рачков с длиной тела 2.1–4.0 мм (28.4%). Среди половозрелых бокоплавов *I. commensalis* наиболее часто встречались особи с длиной тела 5.1–6.0 мм (11.6%). Доля амфипод с длиной тела более 8 мм не превышала 10%. Рачки длиной тела менее 4 мм были представлены исключительно молодью, тогда как бокоплавов с длиной тела более 6 мм были самками или самцами. В 2005 г. (конец мая – начало июня) доля молодежи была низка (6.5%). В популяции *I. commensalis* преобладали взрослые особи с длиной тела 6.1–7.0 мм (24.7%) и 8.1–9.0 мм (29.9%). Рачки с длиной тела 2.1–5.0 мм отсутствовали.

Таблица 1

Длина тела и масса амфипод *Ischyrocerus commensalis*, собранных с камчатских крабов в губе Сайда в 2004 и 2005 гг.

Год	Длина тела, мм					Масса, мг				
	X	SD	SE	Min	Max	X	SD	SE	Min	Max
Ювенильные										
2004	2.5	1.1	0.1	0.8	5.1	0.5	0.1	0.0	0.3	1.0
2005	1.5	0.2	0.1	1.4	1.9	0.5	0.0	0.0	0.5	0.5
Самки										
2004	7.4	1.9	0.3	5.0	11.2	8.0	5.1	0.8	1.5	16.5
2005	7.7	1.2	0.2	5.3	9.4	8.1	3.2	0.5	2.0	14.0
Самцы										
2004	6.6	1.5	0.3	4.9	11.1	5.9	4.3	0.8	1.0	18.5
2005	7.9	1.4	0.3	5.4	10.5	8.8	4.2	0.8	1.5	15.0

Примечание. X – среднее, Min – минимум, Max – максимум, SD – стандартное отклонение, SE – стандартная ошибка.

Длина тела ювенильных особей была ниже в конце мая – начале июня 2005 г. по сравнению с сентябрем 2004 г. (табл. 1). Выявленные различия были достоверными ($df = 1$, $N = 4.384$, $p = 0.036$). Длина тела и масса самок, собранных в разные сезоны, статистически значимо не отличались ($p > 0.186$ в обоих случаях). Для самцов, наоборот, были отмечены достоверные различия рассматриваемых показателей: особи, собранные в сентябре были крупнее, чем те, что собраны в конце мая – начале июня ($p < 0.012$ во всех случаях).

Сравнение длины тела и массы *I. commensalis* не выявило достоверных различий данных показателей у особей разного пола как в 2004, так и в 2005 г. ($p > 0.108$ во всех случаях).

Половой диморфизм у бокоплавов *I. commensalis* хорошо выражен: у взрослых особей отличается форма вторых гнатопод (у самок они кувшинообразной формы), у самцов они более крупные и их пальмарный край вооружен щетинками, тогда как у самок щетинок практически нет.

Зависимости массы (M) от длины тела (L) имеют вид: $M = 0.0222L^{2.8695}$ ($R^2 = 0.8998$) для самок, $M = 0.0223L^{2.8571}$ ($R^2 = 0.8890$) для самцов. Полученные зависимости достоверно не отличались у особей разного пола ($df = 1$, $F = 0.3$, $p = 0.585$). При объединении данных по особям вне зависимости от пола было получено следующее уравнение: $M = 0.0221L^{2.8686}$ ($R^2 = 0.8964$).

Распределение самок *I. commensalis* разных стадий зрелости в зависимости от их размеров в 2004 и 2005 гг. показано на рисунке 3.

В сентябре 2004 г., в сезон размножения, в популяции преобладали самки, находящиеся на второй стадии зрелости (37.8%). Они встречались, начиная с размерного класса 6.1–6.5 мм. Доля неразмножающихся самок на стадиях зрелости 0 и 1 составляла 28.9% и 22.2% соответственно. Такие особи были найдены в размерных классах 5.1–7.5 мм. Самки третьей и четвертой стадий зрелости встречались реже (11.1%, размерные классы 8.6–9.0 мм и > 10.0 мм). Иная картина наблюдалась в конце мая – начале июня 2005 г. Основную долю особей также составляли самки на второй стадии зрелости (77.8%), отмеченные с размерного класса 6.1–6.5 мм. Остальная доля самок была представлена особями на стадиях зрелости 0 и 1. Поскольку нерест для данного сезона не характерен, самок поздних стадий зрелости на крабах не обнаружено.

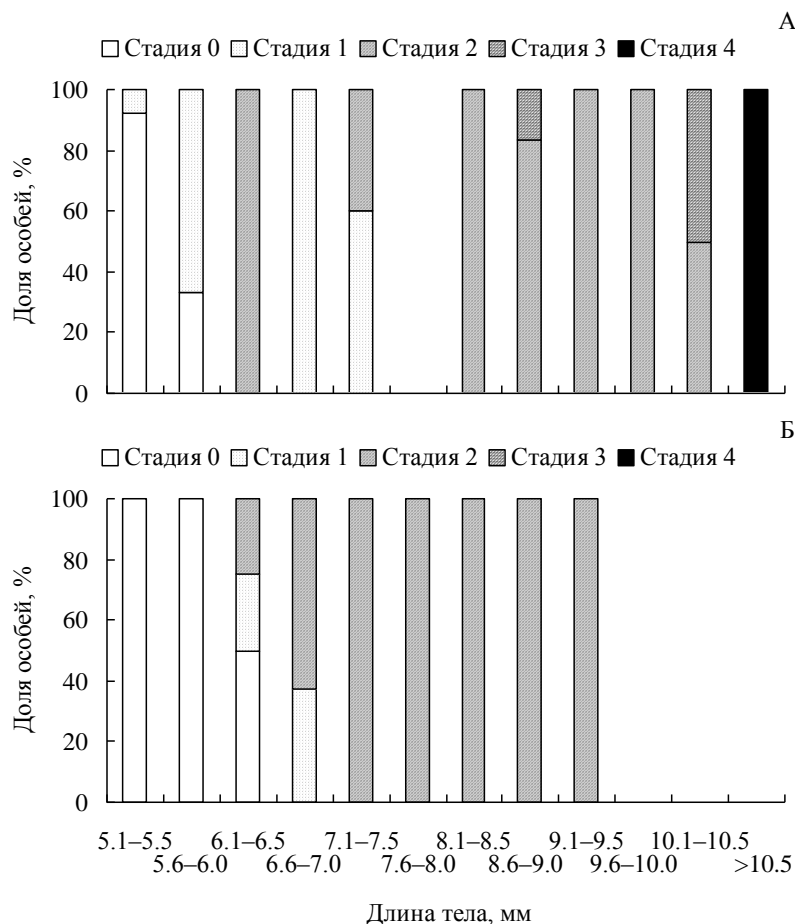


Рис. 3. Распределение самок *Ischyrocerus commensalis* разных стадий зрелости по размерным классам в губе Сайда. А – сентябрь 2004 г., Б – конец мая – начало июня 2005 г.

Абсолютная индивидуальная плодовитость самок *I. commensalis*, собранных с камчатских крабов в сентябре 2004 г., варьировала от 14 до 63 икринок на самку, составив в среднем 26 ± 13 икринок; в конце мая – начале июня 2005 г. плодовитость колебалась от 4 до 49 икринок на самку, в среднем 25 ± 10 икринок. Сравнение плодовитости самок в разные сезоны при помощи однофакторного дисперсионного анализа не выявило достоверных вариаций данных показателей ($df = 1$, $F = 0.17$, $p = 0.682$).

Встречаемость икринок разных стадий зрелости у самок *I. commensalis*, несущих икру, также характеризовалась выраженными сезонными особенностями ($df = 1$, $\chi^2 = 10.983$, $p = 0.004$). В сентябре 2004 г., когда наблюдалось размножение рачков, у самок отмечена примерно равная встречаемость недавно отложенной икры (первая стадия зрелости) и икры более поздних стадий (с признаками дробления и практически сформировавшимися особями под оболочкой икринок), тогда как в мае – июне среди икряных самок преобладали особи с ранней икрой (88.6%).

Зависимость индивидуальной плодовитости от длины тела самок *I. commensalis* описывается линейным уравнением. Как в сентябре 2004 г., так в конце мая – начале июня 2005 г. были отмечены тенденции к повышению индивидуальной плодовитости самок по мере увеличения их размеров. Однако в первом случае, из-за малого объема выборки ($n = 13$), коэффициент корреляции был недостоверным ($df = 1$, $F = 3.31$, $p = 0.089$), во втором случае полученная слабая связь между длиной тела и абсолютной плодовитостью была достоверной ($df = 1$, $F = 5.86$, $p = 0.022$).

Обсуждение

В губе Сайда в ловушечных уловах встречались камчатские крабы с шириной карапакса более 50 мм. Это связано с селективностью используемых орудий лова (донных ловушек), которые не позволяют облавливать младшие размерно-возрастные группы *Paralithodes camtschaticus*.

Межгодовые отличия в средней интенсивности заселения крабов бокоплавами *Ischyrocerus commensalis*, которая была выше в летний период, связаны с особенностями размножения симбионта,

пик численности которого приходится на более теплое время года. Известно, что весной температура воды в придонном слое в северном колене Кольского залива составляет от +2.2 до +2.8 °С, летом – от +7.4 до +7.7 °С [13, 14].

Преобладание в популяции самок характерно для многих видов морских и пресноводных амфипод [19, 21], при этом зачастую соотношение полов может изменяться в зависимости от сезона [22, 23].

Наблюдаемое размерно-частотное распределение бокоплавов позволяет сделать вывод о том, что в начале лета размножается лишь малая доля самок *I. commensalis*, тогда как в начале сентября наблюдается массовая репродукция особей данного вида.

Отсутствие ювенильных особей средних размеров в начале лета 2005 г. указывает на то, что в популяции в этот период времени живут перезимовавшие рачки, сформировавшиеся в предыдущем году. Более равномерное распределение по размерным классам бокоплавов *I. commensalis* в сентябре 2004 г. связано с тем, что выпуск молоди растянут во времени, поэтому в популяции присутствуют как недавно появившиеся рачки, так и особи, успевшие подрасти и даже достигнуть половой зрелости. Морфометрические показатели амфипод *I. commensalis* в целом подтверждают данное предположение.

Согласно полученным данным, самцы, собранные в сентябре, были крупнее особей, заселявших краба в конце мая – начале июня. Подобный результат может объясняться более высокой смертностью крупных самцов по сравнению с самками, из-за чего лишь малая их доля способна успешно перезимовывать. Другое объяснение – самцы могут быть менее зависимы от хозяина, чем самки, для которых обитание на крабе позволяет лучше сохранить потомство. Наконец, нельзя исключать влияние кормовых условий и температуры воды: более крупные сентябрьские самцы развиваются в более благоприятных условиях – при избытке доступной пищи и более высокой температуре. Для самок разных поколений подобного не наблюдается, что, скорее всего, обусловлено тем, что основную часть своих ресурсов они тратят на формирование икры, а не на соматический рост.

Особь *Ischyrocerus commensalis* слабо отличались по морфометрическим показателям (длине тела и массе). Для некоторых других видов, например, амфипод рода *Leucothoe*, заселявших губок *Halichondria melanodocia*, *Haliclona loosanoffi* и *H. permollis* у берегов Флориды, также отмечены примерно равные размеры самцов и самок [24].

У самцов *I. commensalis* гнатоподы крупнее, чем у самок, и лучше вооружены. Подобная разница в строении конечностей характерна и для других амфипод. Она связана с отличиями репродуктивного поведения самцов и самок. Известно, что у гаммарид в период размножения самцы активно разыскивают самок и несколько дней плавают с ними парами, удерживая самку с помощью гнатопод первой пары и зацепив ее за спинную сторону первого и пятого сегментов грудного отдела. Вторая пара гнатопод у самцов остается свободной, и, возможно, используется для того, чтобы отгонять других самцов в период спаривания [25]. Подобные проявления полового диморфизма, выраженные в строении и лучшей вооруженности вторых гнатопод самцов, описаны и для массового литорального вида *Gammarus oceanicus* [26].

Полученные в работе размерно-весовые зависимости достоверно не отличались между самцами и самками. Скорее всего, темпы роста особей разного пола в губе Сайда не различаются. Близкий результат был найден для амфипод *Gammarus wilkitzkii* в районе арх. Земля Франца-Иосифа [27].

Зависимость индивидуальной плодовитости от длины тела самок *Ischyrocerus commensalis* описывается линейным уравнением. Для других видов бокоплавов также отмечена положительная линейная зависимость индивидуальной плодовитости самок от их размеров [19, 24, 27–29].

Основные итоги работы можно суммировать следующим образом. Экстенсивность заселения краба амфиподами в среднем составляла 8.7–10.9%, средняя интенсивность заселения в сентябре равнялась 4.1–7.1 экз., в мае–июне – 4.1 экз. Среди взрослых рачков доминировали самки. В сентябре массовыми были ювенильные особи размерами менее 2 мм, а в мае–июне – половозрелые бокоплавы с длиной тела 6.1–7.0 мм. Осенью были широко представлены икранные самки *I. commensalis*, плодовитость которых достигала 63 икринок на самку.

Полученные материалы можно применять для мониторинга эпифауны камчатского краба в Баренцевом море.

Работа поддержана грантом Президента РФ для молодых кандидатов наук МК-226.2011.4 по теме "Экология камчатского краба в прибрежье Баренцева моря".

ЛИТЕРАТУРА

1. Кузьмин С.А., Гудимова Е.Н. Вселение камчатского краба в Баренцево море. Особенности биологии, перспективы промысла. Апатиты: Изд. КНЦ РАН, 2002. 236 с.
2. Соколов В.И. Состояние запасов камчатского краба (*Paralithodes camtschaticus*) в российской части Баренцева моря по результатам ловушечных съемок // Тез. докл. VII Всероссийской конф. по промысловым беспозвоночным (памяти Б.Г. Иванова). М.: Изд-во ВНИРО, 2006. С. 129–132.
3. Sindermann C.J. Disease in marine aquaculture // Helgoland Meeresunters. 1984. Vol. 37. P. 505–532.
4. Бакай Ю.И. Паразитологические исследования камчатского краба в Баренцевом море // Камчатский краб в Баренцевом море. Мурманск: Изд-во ПИНРО, 2003. С. 203–218.
5. Гурьянова В.Ф. Бокоплавы морей СССР и сопредельных вод (Amphipoda-Gammaridea). М.-Л.: Изд-во АН СССР, 1951. 1031 с.
6. Atkinson E.G., Wacasey J.W. Benthic invertebrates collected from Hudson Bay, Canada, 1953 to 1965 // Canadian Data Report in Fisheries and Aquatic Sciences. 1989. № 744. P. 1–122.
7. Dunbar M.J. The Amphipod Crustacea of Ungava Bay, Canadian eastern Arctic // Journal of Fisheries Research Board Canada. 1954. Vol. 11. P. 709–798.
8. Современный бентос Баренцева и Карского морей. Апатиты: Изд. КНЦ РАН, 2000. 486 с.
9. Vader W. Amphipoda as associates of other Crustacea // Second European Crustacean Conference, Liege (Belgium), September 2–6, 1996. Book of Abstracts. 1996. P. 67.
10. Steele D.H., Hooper R.G., Keats D. Two corophioid amphipods commensal on spider crabs in Newfoundland // Journal of Crustacean Biology 1986. Vol. 6. P. 119–124.
11. Jansen P.A., Mackenzie K., Hemmingsen W. Some parasites and commensals of red king crab *Paralithodes camtschaticus* in the Barents Sea // Bulletin of European Association of Fish Pathologists. 1998. Vol. 18(2). P. 46–49.
12. Клитин А.К. Камчатский краб у берегов Сахалина и Курильских островов: биология, распределение и функциональная структура ареала. М.: Изд-во Нацрыбресурсы, 2003. 253 с.
13. Кольский залив: Океанография, биология, экосистемы, поллютанты / отв. ред. Г.Г. Матишов. Апатиты: Изд. КНЦ РАН, 1997. 265 с.
14. Кольский залив. Освоение и рациональное природопользование / отв. ред. Г.Г. Матишов. М.: Наука, 2009. 381 с.
15. Научно-прикладной справочник по климату СССР. Многолетние данные. Сер. 3, вып. 2. Мурманская область. Л.: Гидрометеиздат, 1988. 316 с.
16. Руководство по изучению десятиногих ракообразных *Decapoda* дальневосточных морей / В.Е. Родин, А.Г. Слизкин, В.И. Мясоедов, В.Н. Барсуков, В.В. Мирошников, К.А. Згуровский, О.А. Канарская, В.Л. Федосеев. Владивосток: Изд-во ТИНРО, 1979. 60 с.
17. Martin D., Britayev T.A. Symbiotic polychaetes: review of known species // Oceanography and Marine Biology: an Annual Review. 1998. Vol. 36. P. 217–340.
18. Kjennerud J.I. Ecological observations on *Idothea neglecta* G.O. Sars // University of Bergen Årbok. 1950. Vol. 7. P. 1–47.
19. Jones M.B., Wigham G.D. Reproductive biology of *Orchestia gammarellus* (Crustacea: Amphipoda) living in a sewage treatment works // Journal of Marine Biological Association of the United Kingdom. 1993. Vol. 73. P. 405–416.
20. Biostatistics: a methodology for the health sciences. Second Edition / G. Van Belle, L.D. Fisher, P.J. Heagerty, T. Lumley. New Jersey: John Wiley & Sons, 2004. 888 p.
21. Копорачка К., Jesionowska A. Life history of *Echinogammarus ischnus* (Stebbing, 1898) (Amphipoda) from artificially heated Lichenskie Lake (Poland) // Crustaceana. 1995. Vol. 68. P. 341–349.
22. Луппова Е.Н. Особенности экологии литоральных бокоплавов *Lagunogammarus oceanicus* (Sege-stale, 1974) и *Gammarus duebeni duebeni* (Lilljeborg, 1851) в Баренцевом и Белом морях // Фауна беспозвоночных Карского, Баренцева и Белого морей (информатика, экология, биогеография) / отв. ред. Г.Г. Матишов. Апатиты: Изд. КНЦ РАН, 2003. С. 240–325.
23. Arndt C.E., Beuchel F. Life history and population dynamics of the Arctic sympagic amphipods *Onisimus nansenii* Sars and *O. glacialis* Sars (Gammaridea: Lysianassidae) // Polar Biology. 2006. Vol. 29. P. 239–248.
24. Thiel M. Population and reproductive biology of two sibling amphipod species from ascidians and sponges // Marine Biology. 2000. Vol. 137. P. 661–674.
25. Borowsky B. The use of the males' gnathopods during precopulation in some gammaridean amphipods // Crustaceana. 1984. Vol. 47. P. 245–250.
26. Икко Н.В. Онтогенетическая изменчивость некоторых морфологических параметров у *Gammarus oceanicus* (Amphipoda, Gammaridae) // Матер. Второй Всероссийской школы по морской биологии (г. Мурманск, 3–5 ноября 2003 г.). Апатиты: Изд. КНЦ РАН, 2004. С. 77–90.
27. Poltermann M., Hop H., Falk-Petersen S. Life under Arctic sea ice: reproduction strategies of two sympagic (ice-associated) amphipod species, *Gammarus wilkitzkii* and *Apherusa glacialis* // Marine Biology 2000. Vol. 136. P. 913–920.
28. Jeong S.J., Yu O.H., Suh H.-L. Reproductive patterns and secondary production of *Gammaropsis japonicus* (Crustacea, Amphipoda) on the seagrass *Zostera marina* of Korea // Hydrobiologia. 2009. Vol. 623. P. 63–76.
29. Pavesi L., De Matthaeis E. Life history of the talitrid amphipod *Macarorchestia remyi* (Schellenberg, 1950) on a Tyrrhenian sandy beach, Italy // Hydrobiologia. 2009. Vol. 635. P. 171–180.

Сведения об авторах

Дворецкий Александр Геннадьевич – к.б.н., зав. лабораторией; e-mail: vdvoretский@mmbi.info

Дворецкий Владимир Геннадьевич – к.б.н., ст.н.с.; e-mail: vdvoretский@mmbi.info

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ КОПЕПОД В ВЕСЕННЕМ ПЛАНКТОНЕ ПРИБРЕЖЬЯ БАРЕНЦЕВА МОРЯ В 2007 г.

В. Г. Дворецкий, А.Г. Дворецкий

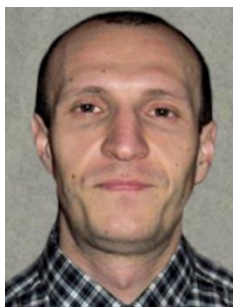
Мурманский морской биологический институт КНЦ РАН

Аннотация

Исследовано распределение веслоногих ракообразных в планктоне прибрежной зоны южной части Баренцева моря в весенний период 2007 г. Обнаружено 19 видов копепод. Их численность варьировала от 635 до 1815 экз/м³ (55–75% общего обилия мезозoopланктона), биомасса – от 49 до 151 мг сырой массы/м³ (39–91%). По численности доминировали науплии (136–753 экз/м³). Наибольший вклад в биомассу обеспечивал *Calanus finmarchicus* (29–129 мг/м³, 65–85%). Проведен анализ зоогеографического состава и экологического статуса веслоногих рачков. Трофическая структура сообщества характеризовалась преобладанием фитофагов (87% общей биомассы копепод). Биоразнообразие изменялось в диапазоне 1.52–2.17 бит/экз. Высокие показатели количественного развития веслоногих ракообразных были связаны с аномально теплыми условиями исследуемого периода.

Ключевые слова:

зоопланктон, копеподы, Баренцево море.



Зоопланктон Баренцева моря изучается на протяжении длительного промежутка времени. Основные направления работ можно условно разделить на 2 блока. Во-первых, исследования, связанные с рыбопромысловой деятельностью, которые включают в себя описание состава, количественного распределения и биологии преимущественно кормового зоопланктона [1, 2]. Во-вторых, исследования, нацеленные на выявление особенностей функционирования сообществ зоопланктона [3–6]. Следует подчеркнуть, что оба направления тесно взаимосвязаны друг с другом, и в той или иной степени

отражены в большинстве работ. Несмотря на многолетние исследования, многие вопросы остаются практически незатронутыми. В частности, очень мало сведений о весенней фазе сезонного развития зоопланктона.

В составе животного населения планктона на протяжении большей части года доминируют веслоногие ракообразные, составляющие основу численности и биомассы зоопланктона. Экология *Sopropoda* к настоящему времени исследована недостаточно – мало данных о возрастной и размерной структуре, хотя получены обширные сведения о динамике развития этих беспозвоночных [3, 5, 7]. Определенный интерес представляет исследование состояния сообществ пелагических копепод на современном этапе, особенно с учетом того, что 2006–2007 гг. характеризовались аномально высокими температурами воды по сравнению со среднемноголетними значениями [8]. Основной целью работы было описание состава и анализ особенностей количественного развития сообщества веслоногих рачков в южной части Баренцева моря в весенний период.

Материалы и методы

Полевой материал был отобран в 4 прибрежных районах южной части Баренцева моря в ходе экспедиции НИС «Дальние Зеленцы» с мая по июнь 2007 г. (рис. 1).

Для отбора проб мезозoopланктона использовали стандартную модель сети Джеди (диаметр входного отверстия – 37 см, 168 мкм). В каждой точке облавливали слой от дна до поверхности, пробы консервировали 40%-м раствором нейтрального формалина. Обработку проб осуществляли по стандартной методике [9]. Науплии копепод рассматривали как отдельную таксономическую группу. Численность веслоногих ракообразных пересчитывали на 1 м³ с учетом прогона сети и угла отклонения троса, фильтрующую способность сети полагали равной 100%. Сырую биомассу вычисляли с использованием таблиц стандартных весов и номограмм [10]. Разделение рачков на группы по способу питания проводилось с учетом состава преобладающих в их рационе объектов. Для оценки биоразнообразия рассчитывали индексы Шеннона, Менхиника, Маргалёфа и Симпсона.

Сходство отдельных районов по количеству и биоразнообразию копепод оценивали коэффициентами Брея-Куртиса и методом кластерного анализа. В качестве меры близости использовали Евклидово расстояние, рассчитанное по способу парных взвешенных средних. Средние величины представлены со стандартной ошибкой (\pm SE).

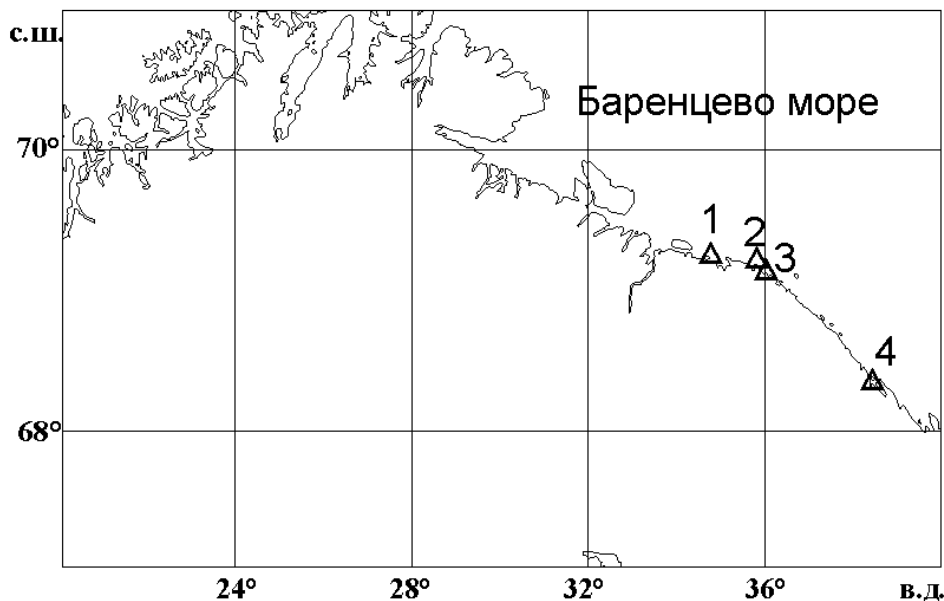


Рис. 1. Районы отбора проб в мае–июне 2007 г.:

1 – губа Малая Оленья Салма; 2 – губа Ярнышная; 3 – губа Дальнезеленецкая; 4 – губа Ивановская

Результаты

За период исследования в пробах было обнаружено 19 видов копепод (табл. 1). Наибольшее разнообразие отмечено в губе Дальнезеленецкая, где зарегистрировано 18 видов, наименьшее – в губе Ярнышная (10 видов). В аномально теплый 2007 г. численность копепод в губах Восточного Мурмана изменялась от 635 до 1815 экз/м³ (55–75% общего количества мезозoopланктона), биомасса – от 49 до 151 мг сырой массы/м³ (39–91%) (рис. 2). Доминирующими группами повсеместно были науплии веслоногих ракообразных 136–753 (401 \pm 145) экз/м³.

Субдоминантами по численности (экз/м³) выступали крупные рачки *Calanus finmarchicus* 98–461 (245 \pm 78), а также мелкие *Oithona similis* 91–405 (221 \pm 67) и *Pseudocalanus minutus* 36–75 (55 \pm 8). Наиболее редко встречались *Ectinosoma neglectum* (11 \pm 3), *Triconia borealis* (16 \pm 4), *Cyclopina gracilis* (4 \pm 1), *Metridia longa* (3 \pm 1) и *Centropages typicus* (2 \pm 0). В целом обилие мелких копепод варьировало от 270 до 570 экз/м³, крупных – от 150 до 495 экз/м³. Нами отмечена тенденция снижения численности веслоногих ракообразных с запада на восток, разница достигала 300 экз/м³ (для мелких копепод) и 350 экз/м³ (для крупных копепод).

Таблица 1

Состав и характеристика фауны копепод района исследования в мае–июне 2007 г.

Виды	Зоогеографический статус	Экологическая характеристика	Трофический статус
Calanoida			
<i>Acartia clausi</i>	бор	Г	Всеядные, хвататели
<i>Acartia longiremis</i>	бор-арк	Э	-//-
<i>Calanus finmarchicus</i>	бор	У	Всеядные, грубые фильтраторы
<i>Calanus glacialis</i>	арк	Х	-//-
<i>Centropages hamatus</i>	бор	Г	Всеядные, хищники

<i>Centropages typicus</i>	бор	Т	-//-
<i>Metridia longa</i>	бор-арк	Х	Всеядные
<i>Metridia lucens</i>	бор	Т	-//-
<i>Microcalanus pusillus</i>	бор-арк	У	Всеядные, фильтраторы
<i>Pseudocalanus minutus</i>	бор-арк	Х	Всеядные, фильтраторы
<i>Pseudocalanus acuspes</i>	бор-арк	У	-//-
<i>Temora longicornis</i>	бор	У	Всеядные, тонкие фильтраторы
Cyclopoida			
<i>Oithona atlantica</i>	бор	Т	Всеядные, хищники
<i>Oithona similis</i>	к	Э	-//-
<i>Cyclopina gracilis</i>	к	У	-//-
Poecilostomatoida			
<i>Triconia borealis</i>	бор-арк	Х	Всеядные, сосущие хищники
Harpacticoida			
<i>Ectinosoma neglectum</i>	бор-арк	У	Всеядные, хищники
<i>Harpacticus uniremis</i>	бор-арк	У	-//-
<i>Tisbe furcata</i>	бор-арк	У	-//-
Copepoda nauplii	к	Э	Всеядные, тонкие фильтраторы

Примечание. Зоогеографическая характеристика видов: арк – арктический, бор-арк – бореально-арктический, бор – бореальный, к – космополит. Экологическая характеристика видов: Х – холодноводный, У – умеренно-холодноводный, Э – эвритермный, Т – тепловодный.

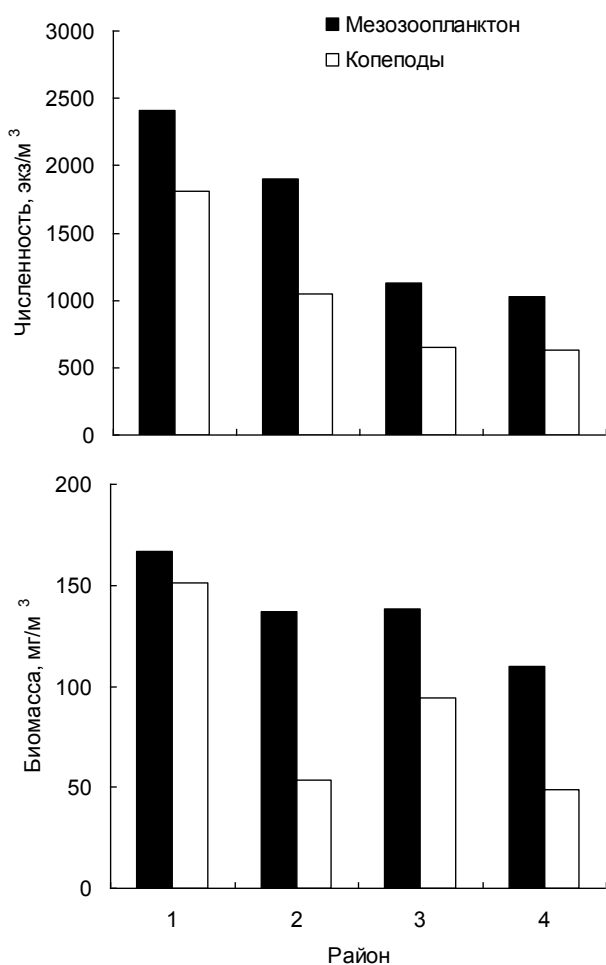


Рис. 2. Соотношение численности и биомассы копепоид (1) и прочего мезозоопланктона (2) в мае–июне 2007 г.

По биомассе (мг сырой массы/м³) во всех районах преобладали крупные рачки рода *Calanus* – *C. finmarchicus* 29–129 (67±23) и *C. glacialis* 3–5 (4±0), которые в зависимости от района вместе составляли 70–89% всей биомассы копепоид. Среди копепоид довольно существенную роль в формировании биомассы играли *P. minutus* 1.7–3.6 (2.4±0.5) и *O. similis* 0.4–1.8 (0.9±0.3), а также науплии 0.7–3.8 (2.0±0.7). Биомасса мелких копепоид в пределах исследованной акватории изменялась в диапазоне 4–13 мг/м³, крупных – 35–139 мг/м³.

Наибольшего развития по численности достигали космополиты (45–70%), наименьшего – арктические виды (менее 0.1%). По биомассе доминировали бореальные виды (60–87%), далее располагались бореально-арктические виды (4–24%), менее всего были представлены космополиты (1–6%).

Среди экологических группировок максимальное обилие зарегистрировано для эвритермных форм – 49–80%, минимальная численность (0.5–2.2%) была характерна для тепловодных видов. Представители умеренно-

холодноводных видов обеспечивали основную биомассу копепод – 75–91%. Минимальный вклад в суммарную массу давали тепловодные формы (0.4–3.0%).

Анализ трофической структуры сообщества копепод показал, что по численности доминирующей группой являлись эврифаги (62–72%), далее располагались фитофаги (26–34%) и хищные формы (1–3%). Однако для понимания структуры сообщества более целесообразно рассмотреть распределение биомассы основных трофических групп. На рисунке 3 представлены основные количественные взаимосвязи между видами разного трофического статуса. Основной вклад в суммарную биомассу обеспечивали фитофаги (79–93%). Расчеты показали, что в прибрежной полосе протяженностью 60 морских миль биомасса растительоядных видов составила 1531.8, эврифагов – 193.8, хищных копепод – 35.2 т.

Биоразнообразие копепод варьировало в достаточно широких пределах (табл. 2). Показатели организованности сообщества веслоногих ракообразных, рассчитанные отдельно по численности и биомассе, существенно отличались друг от друга. Характерной чертой является превышение индексов Маргалефа, Менхиника и Симпсона, вычисленных исходя из биомассы рачков, над величинами, рассчитанными по обилию копепод. В отношении индекса Шеннона отмечена противоположная картина. В целом, наибольшая степень сложности наблюдалась в губе Ивановской. В направлении с запада на восток происходило повышение структурированности сообщества копепод.

Сравнение районов по сходству количественных показателей позволяет говорить о значительной близости районов по видовому богатству и степени сложности сообщества (коэффициенты Брея–Куртиса в обоих случаях превышают 70%). В то же время по численности и биомассе сходство было значительно ниже, составляя 30–68% и 38–67% соответственно. Сопоставление отдельных участков акватории по всей совокупности параметров выявило, что губы Дальнезеленецкая и Ивановская обладают наибольшим сходством (рис. 4), несмотря на то, что расположены на значительном удалении друг от друга. Наименьшее сходство с остальными районами имела губа Малая Оленья Салма.

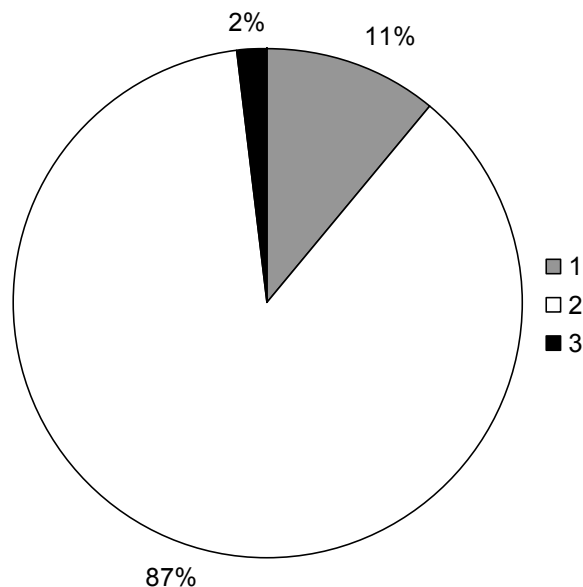


Рис. 3. Относительная биомасса трофических групп копепод на всей исследованной акватории в прибрежной части Баренцева моря в мае–июне 2007 г.: 1 – эврифаги, 2 – фитофаги, 3 – хищные

Таблица 2

Показатели сложности сообщества копепод района исследования в мае–июне 2007 г., рассчитанные по численности (N) и биомассе (B)

Район	N				B			
	D mg	D mn	H'	D	D mg	D mn	H'	D
1	2.13	0.33	1.59	0.25	3.40	1.48	0.66	0.76
2	1.50	0.31	1.52	0.26	2.84	1.73	1.08	0.54
3	2.79	0.75	1.89	0.20	3.94	1.93	0.97	0.60
4	2.30	0.61	2.17	0.15	3.93	2.37	1.27	0.44
Среднее	2.18	0.50	1.79	0.22	3.53	1.88	0.99	0.59

Примечание. D mg, D mn, H', D – индексы Маргалефа, Менхиника, Шеннона и Симпсона, соответственно. 1 – губа Малая Оленья Салма, 2 – губа Ярнышная, 3 – губа Дальнезеленецкая, 4 – губа Ивановская.

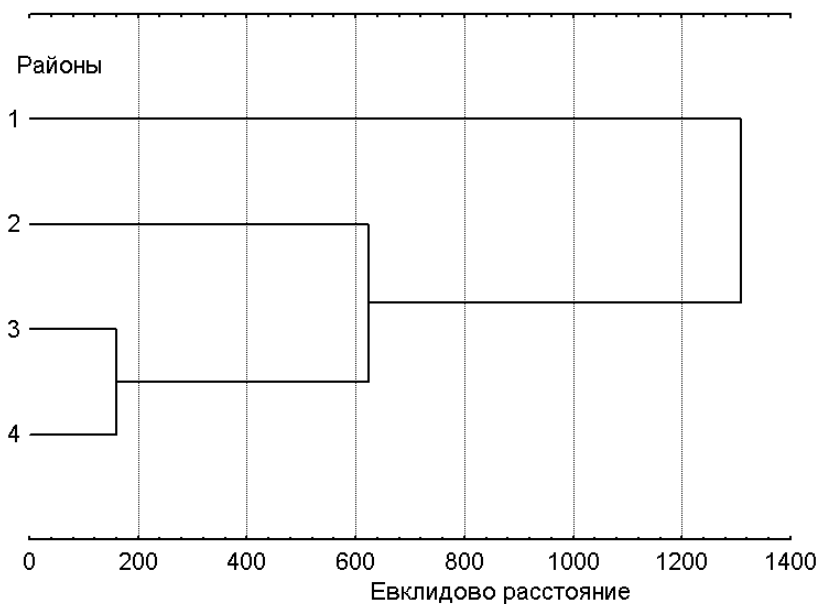


Рис. 4. Дендрограмма сходства районов по обилию, биомассе и биоразнообразию сообщества копепод в Баренцевом море в мае–июне 2007 г.

Возрастная структура популяций массовых копепод *C. finmarchicus*, и *P. minutus* характеризовалась преобладанием младших копеподитных стадий (I–III), составлявших 50–80% общей численности этих видов. В целом практически для всех калянид характерной особенностью было низкое обилие половозрелых рачков. В то же время другой многочисленный вид *O. similis* был представлен более зрелыми стадиями – IV–V копеподитами и самками, которые вместе насчитывали до 90–93% суммарной плотности популяции.

Обсуждение

В составе сообщества мезозoopланктона южной части Баренцева моря на протяжении года встречается более 80 видов копепод [6]. Основную часть составляют каляниды и гарпактициды; последние, однако, обитают преимущественно в придонном слое. В пробах одной станции, как правило, удается идентифицировать не более 15–20 форм мезозoopланктона, из которых копеподы составляют 50–90% [3, 5]. Таким образом, основной фон составляют Calanoida и Cyclopoida. Согласно нашим данным, эти две группы доминировали как по численности, так и по биомассе в мае–июне 2007 г. Предыдущими исследованиями было показано, что наиболее массовыми видами являются крупные рачки *C. finmarchicus* и *M. longa*, а также мелкие *O. similis*, *M. pusillus*, *P. minutus*, *T. longicornis* и *T. borealis* [6]. Все они, за исключением метридии, были обильны в проанализированных пробах. Необходимо отдельно отметить относительно высокий вклад в биомассу малочисленного *C. glacialis*. Как правило, этот вид широко представлен в Баренцевом море севернее 76° с.ш., в южной части он практически не встречается южнее 70° с.ш. [6]. С учетом того, что исследуемый период характеризовался аномально теплыми условиями [8], и *C. glacialis* предпочитает достаточно низкие температуры, можно предполагать, что, скорее всего, особи этого вида были привнесены с течениями из других районов моря.

В конце весеннего – начале летнего периодов численность и биомасса мезозoopланктона, а также вклад в эти показатели веслоногих рачков в прибрежье Баренцева моря могут существенно варьировать. Наши данные близки к показателям конца мая 1984 г. (аномально теплый год), когда биомасса копепод колебалась от 20 до 60 мг/м³ (60–76% от общей биомассы) [11]. С другой стороны, в 1976 г. (умеренный год) в начале июня в прибрежье Восточного Мурмана наблюдалась высокая степень развития яиц, науплиев и I–IV копеподитов *C. finmarchicus*, *Pseudocalanus* spp., *M. pusillus* и *O. similis*, суммарная биомасса мезозoopланктона достигала 200 мг/м³, на долю веслоногих рачков приходилось около 80–90% [5]. Наблюдаемые отличия, на наш взгляд, связаны с тем, что в 1976 г. автор рассматривал развитие зоопланктона в достаточно удаленных от берега районах (в 5 милях к северу от губы Дальнезеленецкая).

Распределение массовых видов копепод также существенно зависит от года исследований. Исследования 2007 г. показали, что обилие *C. finmarchicus* достигало 460 экз/м³, а биомасса 129 мг/м³. По данным М.М. Камшилова, в мае 1951 г. (теплый год) численность калянуса в поверхностном слое в прибрежье Баренцева моря в среднем равнялась 62 экз/м³, рачки этого вида обеспечивали более 80% суммарной биомассы зоопланктона [1]. Биомасса калянуса за период 1954–1958 гг. изменялась от 20 до 100 мг/м³ [3]. В южной части разреза «Кольский меридиан» (33°30' в.д.) за период с 1959 по 1977 гг. в апреле–мае обилие всех стадий *C. finmarchicus* варьировало в диапазоне 67–3800 экз/м³ (38–92%). В юго-западной части моря весной 1962–1963 гг. (умеренные годы) количество *C. finmarchicus* колебалось в интервале 50–2100 экз/м³ [2]. С другой стороны в 1964 г. (холодный год) в этом же районе в июне обилие калянуса не превышало 40 экз/м³ [7]. Таким образом, показатели 2007 г. превосходят в большинстве случаев величины обилия и биомассы *C. finmarchicus*, наибольшее сходство отмечается с годами, которые характеризовались аномально теплыми условиями.

Численность другого массового вида *O. similis* весной 2007 г. составляла 91–405 экз/м³. На «Кольском разрезе» за период с 1959 по 1977 гг. в мае численность *O. similis* изменялась в интервале 155–2500 экз/м³. На границе Баренцева и Норвежского морей в мае 1962–1963 гг. количество *O. similis* не превышало 77 экз/м³ [2]. Весной 1976 г. (умеренно теплый год) обилие этого вида варьировало от 400 до 600 экз/м³ [5]. Сравнение с приведенными данными позволяет говорить о том, что распределение ойтаны менее жестко связано с температурными условиями по сравнению с калянусом.

Обилие типичных представителей мезозоопланктона *P. minutus* и *P. acuspes* колебалось от 47 до 116 экз/м³. Эти данные сходны с показателями, зарегистрированными в губе Дальнезеленецкой в мае–июне 1950–1951 гг. (теплые годы), когда плотность популяций псевдокалянуса колебалась в пределах 11–88 экз/м³ [4]. С другой стороны в конце весны 1976 г. численность *P. minutus* не превышала 20 экз/м³ [5]. Необходимо отметить, что на юго-западе Баренцева моря даже в холодные годы обилие *Pseudocalanus* spp., как правило, выше, чем в прибрежье южной части. Например, в мае–июне 1969–1970 гг., которые характеризовались низким теплосодержанием водных масс, численность *P. minutus* достигала 386 экз/м³ [12].

Выявленные нами особенности распределения численности и биомассы веслоногих ракообразных свидетельствуют о благоприятных условиях для развития зоопланктона. Это подтверждается тем, что в большинстве работ, посвященных выявлению причин, обуславливающих динамику и степень развития зоопланктона, основополагающая роль отводится температуре воды и кормовым условиям районов исследований [2, 3, 6].

Подчеркнем, что реакция зоопланктонных сообществ на климатические факторы проявляется не сразу, а с некоторой задержкой, т.е. даже в холодный год биомасса может достигать значительных величин, если предыдущий год характеризовался оптимальными условиями [6]. С другой стороны, в участках, непосредственно прилегающих к берегу, определенную роль играют и другие гидрологические факторы, особенно приливно-отливной режим, который обуславливает мозаичность распределения биомассы и численности зоопланктона. Это подтверждается результатами кластерного анализа и сопоставлением показателей сходства отдельных районов.

Картина распределения разных видов Copepoda по зоогеографическим показателям является типичной для весеннего периода, наибольший вклад в численность дает *O. similis* (космополит), в биомассу – *C. finmarchicus* (бореальная форма) [3, 5, 6, 11].

Выявленное нами соотношение возрастных стадий *C. finmarchicus* с доминированием младших копеподитов типично для прибрежной зоны Восточного Мурмана в теплые годы. Так, в конце мая – начале июля науплии составляли 45% популяционного обилия, остальная часть приходилась на младшие стадии, среди которых преобладали копеподиты I (30%) и копеподиты II (18%) [2]. Напротив, в холодные годы в структуре популяций *C. finmarchicus* характеризуется небольшим количеством науплиев (менее 5%), преобладанием копеподитов IV–V стадий (более 85%) и небольшой долей самок (до 10%), подобная ситуация имела место в июне 1964 г. в южной части Кольского разреза [7]. Распределение возрастных стадий *O. similis* в целом соответствовало годовому циклу развития данного вида в прибрежной зоне моря. По всей видимости, ойтана еще не прошла весенний пик размножения, который приходится на начало – середину июня [5, 13].

Полученные нами данные свидетельствуют о проникновении теплых атлантических вод в южную часть Баренцева моря, т.к. в пробах были обнаружены *Acartia clausi*, *Centropages hamatus* и *Metridia lucens*, которые предпочитают достаточно высокие температуры воды. Именно с притоком вод атлантического происхождения связано общее потепление мурманской прибрежной водной массы [8]. Сходная картина

была отмечена весной 1976 г., когда в планктоне отмечались теплолюбивые виды [5]. Преобладание эвритермных и умеренно-холодноводных форм во многом объясняется тем, что в прибрежной зоне, где выражены приливно-отливные течения, отмечаются значительные колебания температуры воды. Здесь преимущество получают виды, приспособленные к широкому диапазону температур – *O. similis* и *C. finmarchicus*.

Согласно нашим данным, основную массу питающихся копепод составляли фитофаги и эврифаги. Подобная особенность является типичной чертой весеннего сообщества зоопланктона, которая отражена в работах предыдущих исследований [3, 6]. После ранневесеннего пика цветения фитопланктона (середина–конец апреля), отмечается постепенное нарастание количества мезозоопланктона, прежде всего растительноядных и всеядных копепод, максимум обилия которых приходится на начало-середину мая. После этого, доля фитофагов постепенно понижается, параллельно с этим фиксируется возрастание числа плотоядных планктеров. Относительно невысокое их обилие, отмеченное в мае–июне 2007 г. свидетельствует о том, что сообщество находилось в самом начале фазы нарастания численности хищных форм.

Полученные нами величины биоразнообразия сообщества копепод хорошо соотносятся с установленными ранее закономерностями [5]. В целом, биоразнообразии зооцена копепод было невелико, по сравнению с более южными районами Мирового океана, где значения индекса Шеннона могут превышать 3.5–4 бит/экз [14]. Столь существенная разница во многом объясняется преимущественным доминированием в Баренцевом море 2–3 видов, среди которых основную роль в формировании биомассы, а значит и в трофической сети играют представители рода *Calanus* [6].

Таким образом, наблюдаемое состояние зоопланктонного сообщества соответствовало поздневесенней стадии сезонной сукцессии, которая в прибрежье Восточного Мурмана начинается обычно во второй декаде июня [11]. Повсеместно в составе мезозоопланктона преобладали веслоногие ракообразные. Возрастная структура массовых видов соответствовала их жизненным циклам – в планктоне было много яиц калянид, которые завершали фазу активной репродукции, в то же время *O. similis* только приступала к массовому размножению. Сопоставление полученных данных с опубликованными ранее материалами позволяет говорить о более высокой, чем обычно, степени развития сообщества копепод, свидетельством которого была значительная биомасса и численность рачков. Основными причинами, обусловившими массовое развитие копепод, следует признать аномально теплые условия, отмеченные в 2006–2007 гг.

ЛИТЕРАТУРА

1. Камшилов М.М. Материалы по биологии *Calanus finmarchicus* Gunner Баренцева и Белого морей // Труды МБС АН СССР. 1955. Т. 2. С. 62–86.
2. Дегтерева А.А. Закономерности количественного развития зоопланктона в Баренцевом море // Труды ПИНРО. 1979. Вып. 43. С. 22–53.
3. Зеликман Э.А., Камшилов М.М. Многолетняя динамика биомассы планктона южной части Баренцева моря и факторы, ее определяющие // Труды ММБИ АН СССР. 1960. Т. 2(6). С. 68–102.
4. Камшилов М.М. Материалы по биологии *Pseudocalanus elongatus* В. Баренцева и Белого морей // Гидрологические и биологические особенности прибрежных вод Мурмана. Мурманск: Книжное изд-во, 1961. С. 109–126.
5. Фомин О.К. Некоторые динамические характеристики зоопланктона в прибрежье Мурмана // Закономерности биопродукционных процессов в Баренцевом море. Апатиты: Изд. Кольского филиала АН СССР, 1978. С. 72–91.
6. Тимофеев С.Ф. Экология морского зоопланктона. Мурманск: Изд-во МГПИ, 2000. 216 с.
7. Несмелова В.А. Динамика численности зоопланктона на Дальнезелейнецком разрезе (Баренцево море) в 1964 г. // Гидробиологические исследования в прибрежных районах Баренцева моря. Л.: Наука, 1968. С. 22–29.
8. Матишов Г.Г., Дженюк С.Л., Жичкин А.П., Моисеев Д.В. Климат морей Западной Арктики в начале XXI в. // Известия РАН. Серия географическая. 2011. № 3. С. 17–32.
9. Руководство по методам гидробиологического анализа морской воды и донных отложений / под ред. А.В. Цыбань. Л.: Гидрометеоздат, 1980. 191 с.
10. Численко Л.Л. Номограммы для определения веса водных организмов по размерам и форме тела. Л.: Наука, 1968. 106 с.
11. Фомин О.К. Сезонная динамика численности и сезонное распределение массовых видов зоопланктона в южной части Баренцева моря // Продукционно-деструкционные процессы пелагиали прибрежья Баренцева моря. Апатиты: Изд. КНЦ АН СССР, 1991. С. 72–80.
12. Нестерова В.Н. Развитие планктона у северо-западного побережья Норвегии и в юго-западной части Баренцева моря в 1970 г. // Материалы рыбохозяйственных исследований Северного бассейна. Вып. 21. Мурманск: Изд-во ПИНРО, 1974. С. 57–64.
13. Дворецкий В.Г. Особенности популяционной структуры *Oithona similis* (Copepoda: Cyclopoida) в Белом и Баренцевом морях // ДАН. 2007. Т. 414, № 4. С. 557–560.
14. Zuo T., Wang R., Chen Y., Gao S., Wang K. Autumn net copepod abundance and assemblages in relation to water masses on the continental shelf of the Yellow Sea and East China Sea // Journal of Marine Systems. 2006. Vol. 59. P. 159–172.

Сведения об авторах

Дворецкий Владимир Геннадьевич – к.б.н., ст. научный сотрудник; e-mail: vdvoetskiy@mmbi.info
Дворецкий Александр Геннадьевич – к.б.н., зав. лабораторией; e-mail: vdvoetskiy@mmbi.info

ОСТРОВ СЁРЁЙЯ (ПРОВИНЦИЯ ФИННМАРК, СЕВЕРНАЯ НОРВЕГИЯ) – АРЕНА МЕЖДУНАРОДНОГО СОТРУДНИЧЕСТВА В ОБЛАСТИ ИЗУЧЕНИЯ И ОХРАНЫ ПРИРОДЫ

Н.Е. Королёва

Полярно-альпийский ботанический сад-институт им. Н.А. Аврорина КНЦ РАН

Аннотация

Приведен обзор горных тундр, березовых криволесий, лугов, болот и приморских растительных сообществ на острове Сёрёйя в северной Норвегии в качестве научной основы для ботанических экскурсий и маршрутов экологического туризма.

Ключевые слова:

остров Сёрёйя, север Скандинавии, растительность, горные тундры, березовые криволесья, луга, болота, приморская растительность, путеводители, экологический туризм.



Введение

Важным направлением международного сотрудничества между Россией и северной Норвегией является деятельность в области организованного тематического (научного, экологического, молодежного) туризма и научного обеспечения охраны природы. Основные составляющие такой деятельности – инвентаризация биоразнообразия и пропаганда, распространение истинно научных знаний об окружающей природе. Именно на популяризацию знаний о флоре и растительности острова Сёрёйя направлен совместный российско-норвежский проект лаборатории флоры и растительности ПАБСИ и коммуны Хаммерфест «Ботанические экскурсии на острове Сёрёйя», который получил грантовую поддержку от Баренцсекретариата в

2011 г. Возможно, многим уже знаком иллюстрированный двуязычный путеводитель «Ботанические экскурсии по Хибинским и Ловозерским горам» [1], в создании которого принимали участие сотрудники лаборатории флоры и растительности ПАБСИ и Геологического института КНЦ РАН. Путеводитель вышел в 2005 г. и быстро стал библиографической редкостью. Подготовка аналогичного путеводителя о растительных сообществах острова Сёрёйя на трех языках (норвежском, английском, русском) является целью данного совместного российско-норвежского проекта.

Особенности охраны природы в Норвегии

Норвегия представляет собой яркий пример проведения так называемой «зеленой» политики по отношению общества и его институтов к окружающей среде, что включает поддержание стабильного и высокого уровня биоразнообразия, приоритет «интересов природы» в природопользовании [2]. Доступность охраняемых природных территорий (ОПТ) определяется законодательством Норвегии: каждый человек имеет право свободного доступа к природным территориям (Lov om friluftslivet (friluftsløven), 1957.06.28-2011.09.16).

В настоящее время на основной территории Норвегии (не включая Шпицберген) создано 34 национальных парка (nasjonalpark), 153 территории охраняемых ландшафтов (landskapsvernområde), 1.701 национальных резерватов (naturreservat). ОПТ разных рангов занимают около 12% всей Норвегии [3]. Необходимо заметить, что охрана природных участков с высоким уровнем биоразнообразия входит составной частью в норвежское муниципальное управление землепользованием. В деятельности муниципальных коммун (органов административного управления в провинциях ("fylke")) большое место занимает природоохранная работа. Так, в управлении коммуны Хаммерфест находится несколько небольших национальных резерватов на острове Сёрёйя, и сотрудники коммуны ведут в них постоянные наблюдения. К тому же коммуна занимается, с одной стороны, поддержанием режима сохранения природы не только в заповедниках, но и на всей своей территории, с другой, всячески способствует облегчению и обеспечению доступа на эту территорию, в том числе и на остров Сёрёйя, организованных и неорганизованных туристов.

Одним из показателей высокого уровня охраны природы и развития экологического туризма в регионе является наличие и широкая доступность для всех желающих информации о природе незнакомого

района, в том числе о растительном мире. Такую информацию «из первых рук» должны предоставить путеводители, созданные специалистами-географами, геологами, ботаниками. Усилиями сотрудников КНЦ РАН были изданы очень качественные научно-справочные произведения о природе области, в том числе, книги серии «Памятники природы и достопримечательности Мурманской области» [4, 5]. Благодаря поддержке Баренцсекретариата появилась возможность расширения района работ по исследованию растительности для целей охраны природы и организации научного туризма и на север Фенноскандии.

Физико-географическое положение района исследований, рельеф и климат

Остров Сёрёйя – самый крупный в провинции Финнмарк на севере Норвегии, расположен в 15 км к западу от г. Хаммерфест, его площадь 812 кв.км. Как и большая часть северной Норвегии, он находится в



Рис. 1. В рельефе острова преобладают горные формы с круто обрывающимися в море склонами. Наибольшую площадь занимает горно-тундровый пояс

области северо-восточной окраины гигантской каледонской складчатости, где преобладают кембро-силурийские метаморфизированные осадочные породы [6]. Во время каледонского орогенеза они были смяты в складки, а в конце третичного периода вынесены на дневную поверхность. В рельефе острова преобладают горные формы (рис. 1), средняя высота 400–450 м н.у.м., максимальная 659 м н.у.м. Встречаются горы альпийского облика, с острыми гребнями, крутыми осыпными склонами, цирками и карами, но более типичны «фьельды», низкогорья с платообразными денудированными вершинами, впоследствии расчлененными разломами и долинами рек и ручьев. Линия побережья на всем своем протяжении изрезана бухтами и заливами фьордового типа, преобладают круто обрывающиеся в море морские берега.

Причины столь сложной геоморфологии острова – длительная и полная драматических событий четвертичная история, на протяжении которой территория острова испытала воздействие нескольких оледенений. Гигантские ледяные щиты мощностью в 1–2 км приводили к погружению суши до и ниже уровня моря. Движение ледниковых «рек» обусловило грандиозное эрозионное воздействие, образование глубоких фьордов и отложение на всей поверхности острова огромных масс моренных отложений. В настоящее время территория острова (как и всей Фенноскандии) испытывает поднятие, которое в сочетании с волновой абразией привело к формированию серии приморских террас. Их чередование наглядно демонстрируют современные изменения линии морского берега.

В некоторых бухтах острова сформировались обширные галечные и песчаные пляжи. Уникальный облик имеют крайне специфические комбинированные формы рельефа из эоловых форм (дюнных наносов) на экспонированных к морю горных склонах.

В горном рельефе острова отчетливо выделяется три яруса: нижний составляют межгорные депрессии и долины, средний – горные склоны разной крутизны, самый верхний – округлые и платообразные вершины. Приморские аккумулятивные формы рельефа представлены полосой песчаного или галечникового пляжа и одной-двумя террасами. Широко распространены и неширокие абразионно-аккумулятивные морские террасы, иногда со скалистыми останцами и полоской галечникового или каменистого пляжа.

Климат острова отчетливо океанический (по классификации норвежских авторов [7], слабо океанический, близкий к переходному от океанического к континентальному), что выражается в небольших годовых амплитудах температур и значительном количестве осадков. По данным метеостанции на юге острова Хасвик аэропорт (Hasvik Lufthavn), средняя многолетняя температура самого теплого месяца (июль) +11.5 °С, самого холодного (январь) –2.9 °С, среднегодовая температура 4.2 °С, годовое количество осадков 730 мм, максимальное их количество выпадает в осенние месяцы. Несколько более контрастным становится микроклимат при изменении положения над уровнем моря, так, на высоте 430 м н.у.м., по данным метеостанции Хасвик Слуксфьеллет (Hasvik-Sluskfjellet) средняя температура самого холодного месяца (январь) –7.9 °С, самого теплого (август) 8.3 °С, средняя годовая 0.9 °С. Данные по температуре и осадкам доступны на сайте Норвежского метеорологического института (Meteorologisk Institutt) <http://sharki.oslo.dnmi.no/>.



Рис. 2. Поселок Аккарфьорд на побережье одноименной бухты в северной части острова (фотогр. Е.А. Боровичева)

Территория острова Сёрёйя «поделена» между двумя административными округами, северная часть относится к коммуне Хаммерфест, южная – к коммуне Хасвик. Наиболее освоена южная часть, а в северной – расположен один небольшой поселок (рис. 2) и несколько фермерских хуторов. Возле поселка производится выпас овец, на всей территории острова – домашних оленей, воздействие туризма и рекреации минимальное.

Растительные сообщества

В соответствии с биогеографическим районированием Норвегии [7] остров Сёрёйя находится в северной части альпийской зоны (alpine zone). Наибольшую часть его территории занимает горно-тундровый пояс. Пояс и зона березовых криволесий выражены в южной части острова, а в северной березовые криволесья распространены в долинах

фиордов и фрагментами у подножия горных склонов. При преобладании горного рельефа и отсутствии настоящих плакоров (местообитаний, в которых растительность формируется под воздействием в основном регионального макроклимата) выделение зонального типа растительности затруднительно. Как аналоги островных плакоров могут рассматриваться высокие приморские террасы и участки обширных межгорных долин в нижнем ярусе рельефа, получающие основное питание за счет атмосферных осадков.

Пояс и зона березовых криволесий. Преобладают березовые криволесья разнотравные, крупнотравные и деренно-черничные (рис. 3). **Березовые криволесья деренно-черничные** расположены в нижних участках склонов, в озерных и речных долинах. Включают в себя подтип A4bc. Bilberry-dwarf cornel-crowberry st. норвежской классификации растительности (Vegetasjonstyper i Norge, далее VtN) [7], *Cornus–Empetrum–Myrtillus–* и *Cornus–Myrtillus*-type [8], *Empetrum – Cornus* birch forest type [9]. Деревесный ярус сомкнутостью 0.6–0.8, высотой (0.7) 2–3 м, в травяно-кустарничковом ярусе обычно доминируют черника и дерен шведский, постоянно встречаются вороника, седмичник, луговик извилистый, марьянник луговой, золотарник, нередко участие мезофильного разнотравья (герань лесная). Мохово-лишайниковый ярус фрагментарный, в нем наиболее обычны мхи рода *Dicranum*, *Hylocomium splendens*, *Pleurozium schreberi* и печеночники (*Barbilophozia lycopodioides*), а также лишайники рода *Cladonia*, *Peltigera*, *Nephroma arcticum*.

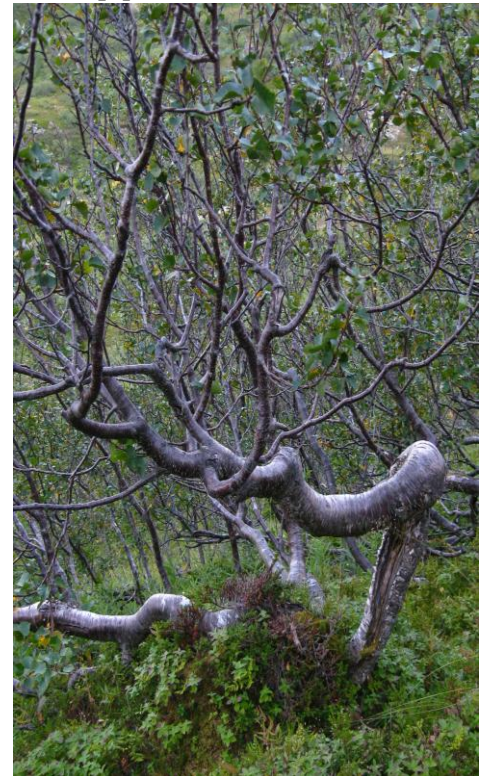


Рис. 3. Деренно-черничное березовое криволесье на крутом склоне

Березовые криволесья разнотравные (Subalpine meadow birch forest–type и Subalpine meadow-heath birch forest–type [9], подтип C2c. Low herb with scattered tall herbs st. VtN [7]), обычны вдоль ручьев, рек, по логовым участкам, на склонах различной крутизны и скальных уступах с постоянным или временным подтоком воды. Деревесный ярус из березы Черепанова с примесью рябины, сомкнутость 0.3–0.9, высотой (1) 1.5–3 м, в кустарниковом ярусе – ерник, ивы сизая, лопарская, козья. В напочвенном покрове преобладают виды мезофильного разнотравья и злаки – душистый колосок, луговик, герань лесная, купальница, бодяк разнолистный, горькуша, фиалка двуцветная белоус, встречаются обычные лесные виды – черника, вороника, хвощ лесной, дерен шведский, кустарничек ивка сетчатая. Моховой покров развит слабо.

Березовые криволесья крупнотравные (Bruchwälder и Kraut-Grass-Bruchwälder [10], подтип C1 Tall fern – woodland VtN [7]) расположены ниже предыдущего типа на приморских террасах, на побережьях крупных фиордов, в долинах рек, в нижних частях крутых влажных склонов и в трещинах разломов. Деревостой сомкнутостью 0.5–0.6, высота берез (1.5) 3–5 м. В кустарниковом ярусе обычны ерник, ивы. В высоком многовидовом травяном ярусе доминируют герань лесная,

таволга, купырь лесной, цицербита альпийская, гравилат речной, вейник Лангсдорфа, бор развесистый, перловник, обычны валериана бузинолистная и высокие папоротники.

С березовыми криволесьями соседствуют **высокотравные луга** (типы G13-G14. Intermediate, nutrient rich “natural” meadow VtN [7]). Эти луга – основная кормовая база для традиционного хозяйствования (разведения овец) на острове. Они расположены на побережьях глубоких заливов, где, возможно, криволесья были сведены с целью расширения площади лугов, а состав напочвенного покрова затем был обогащен за счет заноса семян при завозе сена с материка и подсева трав. Набор видов на этих лугах как в напочвенном покрове в высокотравных березовых криволесьях, но на лугах больше доля апофитов (купырь, шучка дернистая, тысячелистник, иван-чай). В логах и долинах ручьев в составе травостоя мезо- и гигрофиты (таволга, гравилат речной, некоторые осоки).



Рис. 4. Кустарничково-разнотравные сообщества на приморских террасах – основная пищевая база мелких травоядных на острове

Горно-тундровый пояс и зона тундр. Яркая особенность тундровых сообществ – большая доля разнотравья и злаков (рис. 4). Это послужило причиной того, что в некоторых русскоязычных обзорах эти скандинавские сообщества называются «луготундрами». В нижних частях горных склонов, на сухих дренированных конусах выноса элювия и на примыкающих к горам участкам приморских террас располагаются многовидовые **кустарничково-разнотравные сообщества** (W2c Dune meadows and heath, Mountain avens st. VtN [7]). Среди доминантов – кустарнички: голубика, черника, дриада восьмилепестная, ивка сетчатая, травянистые луговые и лесные мезофиты золотарник, горькуша, костяника, дерен шведский, горечавка снежная и др.

На оснеженных зимой участках склонов, на умеренно влажных, хорошо дренированных основаниях склонов большую площадь занимают **злаково-деренно-черничные сообщества** (асс. *Phyllocladon-Vaccinium myrtilli* Nordh.

1943; тип S3. Bilberry-blueheath heath and mountain crowberry heath VtN [7]). Эти сообщества также, очевидно, связаны с соответствующим типом березовых криволесий. Помимо доминантов черники и дерена шведского постоянно встречаются луговик извилистый, морошка, папоротники голокучник, кочедыжник, ерник и кустарниковые ивы – сизая, шерстистая. В сообществах развит мощный моховой покров из видов превроциевых мхов.

На платообразных и пологих вершинах возвышенностей преобладают **мохово-вороничные тундры** (близкие к сообществам подтипа R2a Dwarf shrub–mountain crowberry st. VtN [7]), несомкнутые сообщества, с выраженной мозаикой из распростертых кустарничков (в основном, вороники и арктоуса альпийского) и подушек ракомитриума шерстистого. В районах распространения горных пород с доступным кальцием и, обычно, на значительных высотах над уровнем моря, на верхнем ярусе горно-тундрового рельефа, большие площади покрыты **осочково-дриадовыми тундрами** (асс. *Dryadetum octopetalae* (Nordh. 1928) 1955, тип R3 Mountain Avens-graminoids-lichen ridge VtN [7]). Здесь преобладают дриада восьмилепестная и осока скальная, встречаются смолевка бесстебельная, вороника, значительно участие напочвенных накипных лишайников.

В бессточных понижениях, в долинах временных водотоков верхнего яруса рельефа встречаются небольшие **мелкотравно-белоусовые луговины** с преобладанием белоуса, луговика извилистого и осоки Бигелоу (асс. *Carici bigelowii-Nardetum strictae* (Samuelsson 1916) Nordh. 1936; подтипы T1a. Mat-grass st. и T1b. Wavy hair-grass – sweet vernal grass st. VtN [7]). На свежих дренированных склонах северной и восточной экспозиции, иногда под снежником, в верхнем и среднем ярусе рельефа распространены **мелкотравные субнивальные луговины** (тип T3. Rich snow patch meadow VtN [7]). Здесь, в дерновине злаков (мятлика, душистого колоска и луговика) и невысокого разнотравья (купальницы, лютиков, вероники альпийской) постоянны и обычны характерные для приснеговых местообитаний ивка травяная и сетчатая, сиббальдия, сушеница приземистая.

Под снежниками на осыпях, не перекрытых сомкнутым растительным покровом, встречаются мохово-лишайниковые подушки и куртины петрофитных кустарничков и травянистых многолетников, в том числе папоротника криптограммы (тип T10b. Parsley fern st. VtN [7]).

Болота. Болота занимают значительную площадь как в горно-тундровом поясе, так и в поясе березовых криволесий. Обычно они приурочены к ложбинам и межгорным долинам, возникшим в

результате ледниковой экзарации, и всегда сопряжены с водотоками или зарастающими с берегов озерами. Торфяная залежь на этих болотах неглубокая, менее 0.5–0.7 (очень редко 1) м, под ней находятся моренные отложения. На заболоченных берегах озер обычны **травяно-гипновые болота** – заросли хвоща топяного, вахты, сабельника, пушицы длиннолистной, осок. Они относятся к типу K4. Poor carpet/mud-bottom fen VtN [7]. На окружающих озеро или долину ручья **сфагново-кустарничковых мелкобугристых комплексах** (типы, близкие к J2. Ombrotrophic hummock bog VtN [7]) отчетливо выражен криогенный микрорельеф, высота бугров не более 0.5 м, диаметр 0.5–1 м (рис. 5). На буграх растут морошка, подбел, клюква мелкоплодная, осоки редкоцветковая, кругловатая, а в межбугорных понижениях преобладают пухонос дернистый, немногочисленные амблистегиевые мхи. В горных долинах с близким залеганием Са-



содержащих пород, формируются более богатые по составу **мелкобугристые травяно-кустарничковые болота**, близкие к типу M4. Rich carpet/mud-bottom fen VtN [7]).

Мелкобугристые болота и окружающие тундровые сообщества имеют в составе общие доминирующие виды – голубика, вороника, вереск, дерен шведский, которые, как следствие, внешне очень похожи. Тем не менее, топографически болотный массив обычно отчетливо отграничен, его границы совпадают с границами депрессий мезорельефа.

На пологих сырых горных склонах встречаются «висячие» склоновые **кустарничково-разнотравные** болота, их особенность – участие наряду с обычными «болотными» видами мезофильного разнотравья и большее видовое богатство. Они занимают промежуточное положение между типом M. Rich fen и типом G12. Damp, medium nutrient rich grassland VtN [7]. Мелкобугристый микрорельеф на этих болотах также выражен и имеет криогенное и солифлюкционное (оплывы растительной дернины по склону) происхождение.

Рис. 5. Мелкобугристое болото в горно-тундровом поясе

На пологих сырых горных склонах встречаются «висячие» склоновые **кустарничково-разнотравные** болота, их особенность – участие наряду с обычными «болотными» видами мезофильного разнотравья и большее видовое богатство. Они занимают промежуточное положение между типом M. Rich fen и типом G12. Damp, medium nutrient rich grassland VtN [7]. Мелкобугристый микрорельеф на этих болотах также выражен и имеет криогенное и солифлюкционное (оплывы растительной дернины по склону) происхождение.

Приморская растительность. На немногочисленные отмельных участках побережья, в заливах, располагаются очень живописные песчаные пляжи острова (рис. 6). Помимо процессов морской аккумуляции в формировании микрорельефа пляжа, соседних участков побережья и экспонированных к морю склонов гор участвуют сильные ветра с моря. Невысокие (около 1.5 м) зарастающие или уже заросшие дюны окружают пляж бухты Финнвика (Finnvika), здесь же, на северном склоне г. Сандфьеллет (Sandfjellet), сформировалась высокая (более 70 м) наносная дюна, которая является на острове геоморфологическим памятником.



Рис. 6. Песчаные пляжи формируются

Набор видов, осваивающих приморские пляжи, невелик, но чрезвычайно специфичен, многих из них можно встретить на морских побережьях от Скандинавии до Аляски. Чуть ниже отмеченной выбросами водорослей, плавника и разнообразного морского мусора намывной полосы пляжа и на ней встречаются группировки гонкении и морской горчицы (тип сообществ *Honckenya peploides*). Далее от моря протянулась широкая сизовато-зеленая полоса зарослей мощного высокого злака колосняка



Рис. 7. Колосняк песчаный – доминант сообществ на песчаных пляжах

песчаного (рис. 7), с яркими пятнами соцветий чины алеутской (асс. *Honckenya diffusae-Elymetum arenarii* (Regel 1928) Tx. 1966, тип V7. Primary dynes VtN [7]).

На галечниковых пляжах, сформированных на полоске бенча под абразионными клифами, у самой линии прибоя и выше растет мертензия морская, встречаются

подорожник морской, лигустикум, ложечная трава (тип V5c. Drift influenced gravelly/stony shore VtN [7]). Выше линии штормового заплеска также наиболее обычны заросли колосняка. На приморских скалах обычны крупные куртины родиолы розовой, а на прогреваемых южно экспонированных участках кроме нее встречается очиток едкий.

Растительность скал и осыпей. На крутых ступенчатых склонах возвышенностей острова сформировались скальные группировки и сообщества, состав и структура которых зависит от расположения над уровнем моря, увлажнения, экспозиции, состава горных пород. На влажных скалах в поясе березовых криволесий (тип F2. Rock fissure and rock wall vegetation VtN [7]) типичны отдельные березы и кустарники (ерник, ива сизая, можжевельник), травянистые мезофиты (таволга, купальница, герань, камнеломка жестколистная, манжетка альпийская, кисличник, родиола розовая и др.), кустарнички (черника, вороника, камнеломка супротивнолистная и др.), папоротники. На уступах хорошо развит лишайниково-моховый покров, скалы и крупные камни покрыты яркой мозаикой накипных лишайников. На осыпных склонах горно-тундрового пояса формируется разреженная лишайниково-моховая растительность (цетрарии снежная, клубучковая, кладонии, ракомитриум шерстистый), тип F1. Scree vegetation VtN [7].

Наиболее ценные типы растительных сообществ острова Сёрёйя

Норвегия присоединилась к европейской сети охраняемых территорий, Сети Эмеральд (Emerald Network), как страна, подписавшая Бернскую конвенцию об охране биоразнообразия. Одним из основополагающих документов Конвенции является Директива о сохранении природных местообитаний и местообитаний видов дикой фауны и флоры (Directive on the conservation of natural habitats and of wild fauna and flora), более известная как Директива о местообитаниях 1992 (1992 Habitat Directive). Перечень местообитаний, а также видов растений и животных приоритетной природоохранной значимости содержится в Приложении 1 (местообитания) и Приложении 2 (виды) к Директиве о местообитаниях 1992. При присоединении к Сети Эмеральд Норвегия внесла обширные корректировки данного перечня типов местообитаний приоритетной природоохранной значимости. Это было связано с тем, что почти треть (25 из 70) местообитаний, ценных для охраны природы Норвегии, не были включены в европейский список, а ряд местообитаний, рассматриваемых как приоритетные для охраны природы в Европе, являются нередкими и широко распространенными в Норвегии [3].

В таком измененном норвежском списке местообитаний приоритетной природоохранной значимости Сети Эмеральд на острове Сёрёйя – приморские **растительные сообщества галечниковых и песчаных пляжей, кустарничково-разнотравные сообщества** на песчаных приморских террасах, а также мелкобугристые болота. По-видимому, наиболее ценными из всех мелкобугристых болотных комплексов будут только **мезо-, эвтрофные болота**, расположенные в местообитаниях, богатых доступным кальцием. Кроме того, в состав наиболее ценных местообитаний могут быть внесены **высокотравные луга** на приморских террасах, связанные на острове с традиционным землепользованием. В этих типах местообитаний следует свести к минимальному воздействию туризма и рекреации. Но наиболее опасными из всех существующих для приморских местообитаний являются угрозы разливов нефтепродуктов при морской разведке и нефтедобыче.

Данная работа была выполнена при поддержке Баренцсекретариата, грант № 112545.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ботанические экскурсии по Хибинским и Ловозерским горам // О.А. Белкина, Н.А. Константинова, Н.Е. Королева, В.А. Костина, И.Н. Урбанавичене. Кировск, 2005. 120 с.
2. Petrov V., Isaeva L., Fedrreheim G. E., Bay-Larsen I. Structure of creation of protected area in north-west Russia // Экологические проблемы северных регионов и пути их решения. Мат-лы III Всероссийской научной конференции с международным участием. Апатиты: Изд. КНЦ РАН, 2010. Ч. 2. Р. 258–262.
3. Directorate for Nature Management 2007. Emerald Network in Norway. Final Report from the Pilot Project. DN Report 1b. 2007. 57 p. Режим доступа: <http://dimat.no/>
4. Терский район / Д.В. Жиров, В.И. Пожиленко, О.А. Белкина, В.Н. Костина, Н.Е. Королёва, Н.А. Константинова, И.Н. Урбанавичене, Д.А. Давыдов // Книга 1-я из серии «Памятники природы и достопримечательности Мурманской области». СПб.: Изд. Ника, 2006. 128 с.
5. Ловозерский район / Д.В. Жиров, В.И. Пожиленко, О.А. Белкина, В.Н. Костина, Н.Е. Королева, И.В. Вдовин, О.А. Белкина, Н.А. Константинова, В.Н. Петров, Д.А. Давыдов, А.В. Мелехин // Книга 2-я из серии «Памятники природы и достопримечательности Мурманской области». СПб.: Изд. Ника, 2009. 144 с.
6. Landmark K. Fjellgrunn og landskap i Nord-Norge // Ottag. 1960. Vol. 26, № 4. 39 p.
7. Fremstad E. Vegetasjonstyper i Norge. (Vegetation Types of Norway). NINA Temahefte, 12. 1997. 276 p.
8. Hämet-Ahti L. Zonation of the mountain birch forests in northernmost Fennoscandia // Ann. Bot. Soc. 'Vanamo'. – 1963. Т. 34, № 4. 127 p.
9. Koroleva N.E. Mountain Birch Forests of Murmansk Province, Russia // Skograektarrith. 2001. P. 137–143.
10. Ruuhijärvi R. Über die regionale Einteilung der nordfinnischen Moore // Ann. Bot. Soc. Fennici. 1960. Vol. 31, № 1. 360 p.

Сведения об авторе

Королёва Наталья Евгеньевна – к.б.н., старший научный сотрудник: e-mail: flora012011@yandex.ru

100 ЛЕТ ГЕОБОТАНИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ В МУРМАНСКОЙ ОБЛАСТИ: ИТОГИ И ПЕРСПЕКТИВЫ¹

Н.Е. Королёва

Полярно-альпийский ботанический сад-институт им. Н.А. Аврорина КНЦ РАН

Аннотация

Дан обзор исторического развития, направлений и современного состояния геоботаники в Мурманской области, с особым вниманием к преемственности в развитии геоботанических исследований. Подчеркивается важность развития геоботанических региональных исследований и геоботанической подготовки студентов биологических специальностей.

Ключевые слова:

геоботаника, наука о растительности, фитоценология, экологическая экспертиза, Кольская энциклопедия, история науки, высшее образование, Мурманская область.



Более чем 270 тыс. видов сосудистых растений, 24 тыс. видов мохообразных и 25 тыс. видов лишайников формируют неисчислимо множество растительных сообществ, которые покрывают непрерывной пленкой различной мощности всю Землю, за исключением поверхности океанов и ледников. Именно в растительных сообществах происходит основной круговорот вещества и энергии. Растительные сообщества формируют единую систему с почвенным покровом территории, с растительными сообществами связаны места обитания и жизненный цикл видов животных. Растительный покров является наиболее выразительным компонентом ландшафта. Естественное разнообразие растительного покрова Земли составляет основу ее биологического разнообразия, которое признается как самоценностная категория, вне зависимости от человеческого общества.

Особое место в системе наук о растительном покрове Земли занимает геоботаника, которая занимается изучением разнообразия, свойств, связей, а также выяснением закономерностей организации, пространственного распределения и развития растительных сообществ. Это синтетическая наука, стоящая на стыке биологических и географических наук, но по сравнению с другими «классическими» биологическими и географическими дисциплинами геоботаника относительно молода. Формирование ее теоретической базы началось с исследований великого немецкого естествоиспытателя А. Гумбольдта (А. Humboldt, 1767–1835). В России наука о растительном покрове убедительно отделилась от прочих ботанических наук в последней четверти XIX века. А «законодательное» оформление предмета и основной геоботанической терминологии произошло на Брюссельском Международном ботаническом конгрессе в 1910 году, что дало основание недавно отметить столетие «официального» создания геоботаники.

Геоботаника в широком понимании включает в себя географию растительных сообществ, экологию растений и фитоценологию [1, 2]. Хотя иногда предмет геоботаники сужают до «размеров» фитоценологии, географию растительных сообществ рассматривают как составную часть биогеографии, а экология растений давно самостоятельная синтетическая дисциплина, тем не менее геоботаника в России развивается как своеобразный сплав этих трех наук, которые совместно формируют методологию геоботаники, ее понятийный аппарат и основную проблематику. В европейской англоязычной литературе синонимом термина «геоботаника» является «phytosociology» и «phytocoenologia», в американской – «synecology», частично «vegetation ecology» и «biogeography», в немецкоязычной – «die Pflanzensociologie» и «die Geobotanik».

Чем занимаются геоботаники?

Особенность геоботаники в том, что большинство ее «лабораторий» расположены в природе, и исходный материал (геоботанические описания, карты растительности ключевых участков и т.д.) должен быть собран во время экспедиций, в реальных растительных сообществах – в тундрах, лесах,

¹ Полный вариант данной статьи предполагается опубликовать в Вестнике МГТУ

на болотах. Полевые исследования имеют для развития геоботаники определяющее значение. Сбор геоботанических данных в поле – дело очень непростое и требует высокой квалификации, навыка работы в полевых условиях и больших запасов сил и терпения, чтобы выносить тяготы экспедиционной жизни. Чтобы собрать материал, например, для обзора и классификации растительности того или иного района, геоботаник должен иметь хорошее базовое биологическое образование, уметь определять растения и лишайники, правильно выделить пробные площади для исследований, оценить топографическое и ландшафтное положение растительного сообщества, уметь измерить или оценить важнейшие экологические факторы, воздействующие на сообщество.

«Краеугольный камень» методологии геоботаники – это выполнение геоботанических описаний и последующая их обработка. Несмотря на кажущиеся простоту и «старомодность» геоботанических описаний, их научная ценность очень велика. В процессе перечисления видов растений и лишайников на пробной площади оценивается альфа-разнообразие сообщества, общий набор описаний представляет бета-разнообразие какой-либо территории, а полный список видов всех описаний в синоптической таблице представляет собой ее гамма-разнообразие. Геоботаническое описание сообщества должно включать мохообразные и лишайники, которые зачастую преобладают как по количеству видов, так и по фитомассе. Без их учета описания тундр, болот, лесных сообществ не отражают их реального состава.

Геоботаническое описание должно содержать необходимую сопутствующую информацию – такую, как координаты описания, данные о физико-географических, геологических и экологических особенностях его местоположения, о почвах, имеющемся антропогенном воздействии, о фенологическом состоянии растений. Обязательна оценка горизонтальной структуры растительного покрова (рисунки, схемы, фотографии). Информация, получаемая при выполнении геоботанического описания, делает его, скорее, научным образцом, чем просто описанием, поэтому обвинения в недостаточной объективности и «описательности» этого метода изучения растительного покрова, возможно, основаны на неполной осведомленности.

Если принять во внимание, что за ограниченное время работы в каком-либо районе геоботаник должен репрезентативно оценить разнообразие растительности и сделать не менее десяти описаний на каждый предварительно выделенный им тип, правильно собрать, и главное, сохранить гербарий до определения в лаборатории, становится понятным, почему так трудно получить качественные первичные геоботанические данные, и почему так велика их научная ценность. Пожалуй, корректно собранные геоботанические данные – один из немногих примеров научной информации, ценность которой со временем не теряется, а растет, и которая всегда может найти себе новое применение.

Важное условие успешного геоботанического исследования – публикация первичных геоботанических данных – обработанных описаний. Именно огромный объем опубликованных геоботанических описаний позволил выполнить в Объединенной Европе впечатляющий проект – формирование базы данных для «Обзора растительности Европы» и создание Карты растительности [3]. Публикацию первичных геоботанических данных должны сопровождать их обобщение и анализ, поскольку собственно это и делает геоботанику наукой, а не просто квалифицированным собирательством фактов. Безусловно, длительная мировая история и взаимосвязь с другими биологическими и географическими науками развили и обогатили методологию геоботаники, но геоботаническое описание сохраняет в ней центральную позицию.

В России геоботаника является, наверное, одной из наиболее «массовых» ботанических наук: например, для участия в XII Делегатском съезде Русского ботанического общества на секцию «Геоботаника» было представлено 170 заявок. В результате эта секция была самой многочисленной на съезде, в ее работе участвовали более 70 специалистов [4]. Последняя Всероссийская конференция «Отечественная геоботаника: основные вехи и перспективы», прошедшая в 2011 г. в г. Санкт-Петербурге, собрала 235 участников из различных регионов Российской Федерации, ближнего и дальнего зарубежья. Материалы конференции опубликованы в двух томах общим объемом более 60 учетно-издательских листов (310 статей) и доступны на сайте конференции <http://www.binran.ru/geobot2011>.

«Дорожная карта» для геоботаники в Мурманской области

История исследования растительности Кольского края как часть истории научного освоения Арктики представляет собой одну из наиболее ярких страниц истории российской науки, и в некотором роде, развитие региональной геоботаники, как капля воды отражает современное состояние и взаимоотношения науки и общества.

Первым крупным обобщением сведений о растительности Кольского полуострова стало геоботаническое обследование К. Регелем в 1911–1914 гг. Мурманской, Туломской, Варзугской, Понойской и Имандровской Лапландии. Своей задачей Регель считал сбор как можно более обширных и полных фактических данных о растительности, «поскольку все гипотезы преходящи» [5: Vorwort, VIII]. За время исследований им было выполнено более 1200 описаний растительности, и от его работ можно вести отсчет развития региональной геоботаники на Кольском полуострове. Очень качественные исследования растительного покрова вели финские ботаники на бывшей финской (по Тартускому договору 1920 г.) территории Мурманской области, на полуострове Рыбачий и в Печенгских тундрах [6–8].



Рис. 1. Юрий Дмитриевич Цинзерлинг (1894–1939), геоботаник, ботанико-географ, систематик, выдающийся исследователь Севера, с начала 1920-х гг. и до ареста организатор научных работ на Северо-Западе СССР

Изучение растительности северных окраин СССР в рамках советской (и российской) геоботанической традиции получили мощный стимул с началом освоения природных богатств Арктики. В 1920–1930-е гг. на Кольском полуострове в составе нескольких экспедиций

работал выдающийся исследователь Севера Ю.Д. Цинзерлинг, который с начала 1920-х гг. был участником и организатором геоботанических изысканий на северо-западе СССР. Его помаршрутный обзор и карта растительности северо-восточной части Кольского полуострова, а также материалы обследования Терского берега и центральной части полуострова были использованы затем при создании карты, обзора и ботанико-географического районирования растительности северо-запада Европейской части СССР [9–11].

1930-е гг. – время интенсивного обследования обширных тундровых территорий СССР для нужд землеустройства, для картирования и инвентаризации оленьих пастбищ. Для обследованных типов тундр геоботаниками приводилась подробная характеристика не только растительности, но и особенностей геоморфологии местности, геологического строения и почвенного покрова. В Мурманской области также выполнено подробное описание и картографирование растительности как ресурса для оленеводства [12]. Всего в это время изучением и картированием растительности области занимались около 50 ботаников, а геоботанической съемкой, в основном в масштабе 1:200 000, дважды в период с 1929 по 1949 гг. была пройдена почти вся территория области. Важным итогом этих работ стала выполненная сотрудником Ботанического сада Е.Г. Черновым Карта растительности Кольского полуострова 1:1 000 000 [13]. Пояснительный текст к карте содержит наиболее полный анализ флористических и геоботанических исследований в Мурманской области с конца XVIII по середину XX века, описание и иллюстрации основных типов сообществ, обзор выделенных Е.Г. Черновым геоботанических районов.

Впоследствии карта была генерализована и вошла составной частью в «Карту растительности Европейской части СССР», 1:2 500 000 [14] и в «Геоботаническую карту СССР», 1:4 000 000 [15], на ее основе созданы карты растительности в Атласе Мурманской области [16] и Экологическом атласе Мурманской области [17]. В целом эта карта и сейчас остается наиболее полным и достоверным картографическим произведением для Мурманской области.

Современные геоботанические исследования. В настоящее время постоянные геоботанические изыскания в Мурманской области ведут сотрудники Полярно-альпийского ботанического сада-института (ПАБСИ) КНЦ РАН, Ботанического института им. В.Л. Комарова (БИН) РАН, Института проблем промышленной экологии Севера (ИППЭС) РАН, Кольского центра охраны природы, Центра по проблемам экологии и продуктивности лесов (ЦЭПЛ) РАН. К изучению растительности заповедников привлекаются сотрудники Санкт-Петербургской лесотехнической академии (СПбГЛТА), Санкт-Петербургского государственного университета, Института биологии и Института леса Карельского НЦ РАН и др. Объем данной статьи не дает возможности останавливаться на всех геоботанических работах, поэтому рассмотрим современное состояние региональных геоботанических исследований на примере наиболее важных публикаций последнего десятилетия.

К настоящему времени в основном изучено синтаксономическое разнообразие зональной и горной тундры и лесотундры Мурманской области, опубликованы таблицы описаний и сводные таблицы и составлен Продромус ассоциаций [18–21]. Отдельные типы растительности Кольского п-ова в составе приморских сообществ, тундр и лесов европейского сектора Арктики и Субарктики рассматриваются в

сравнительных геоботанических обзорах [22–25]. Анализ соотношения географических элементов в составе сосудистых растений ряда сообществ и сравнение с аналогичными сообществами соседних тундровых, лесотундровых и северо-таежных регионов позволил уточнить положение безлесных территорий севера Кольского п-ова в системе зональности [26]. Результаты изучения палеогеографии растительности свидетельствуют о ходе макросукцессий и изменениях положения зональных и поясных границ на территории полуострова на протяжении голоцена [27–30].

Многолетние исследования состава растительного покрова идут в заповедниках Мурманской области. На территории крупнейшего в области Лапландского заповедника описаны основные лесные ассоциации [31–32], горно-тундровая растительность [33]. Получены первые результаты геоботанического обследования заповедника «Пасвик», в частности, выполнены классификация и обзор основных растительных сообществ заповедника: лесов, лугов, горных тундр, водной и прибрежно-водной растительности [34]. Обзор природно-территориальных комплексов и ландшафтная карта заповедника Пасвик [35] имеют большую ценность для изучения горизонтальной структуры растительного покрова, для классификации растительных комплексов и для создания крупномасштабной карты растительности заповедника.

В ходе почвенно-биогеоценологических исследований в Мурманской области изучается состав и структура фитоценозов. Биогеоценологические исследования в фитоценозах горно-тундрового и горнолесного пояса показали различия в структуре фитомассы, а также в накоплении и распределении углерода в структурных компонентах сообществ на топографическом градиенте [36, 37]. Анализ трансформации потоков веществ в фитоценозах хвойных лесов выявил необходимость учитывать пространственную структуру сообществ при оценке техногенного воздействия [38].

Наиболее велика библиография исследований растительного покрова центральной части Мурманской области в районах техногенного воздействия. В различных типах лесов, расположенных в зоне загрязнения комбинатом «Североникель» Кольской ГМК, были выявлены признаки, диагностирующие степень поражения сообществ сосновых лесов, исследована устойчивость и процессы восстановления фитоценозов, рассмотрены изменения в составе и структуре эдификаторных и подчиненных синузий на градиенте загрязнения [39, 40]. По данным маршрутных и экспериментальных исследований изучены динамика состояния растительности при постоянном атмосферном загрязнении и при разовом катастрофическом событии (лесные пожары), разработан прогноз восстановления лесов при разных видах антропогенных воздействий [41]. По результатам многолетних наблюдений за состоянием растительного покрова в районе гг. Мончегорск, Заполярный и Никель с использованием аппаратуры спутников Landsat были сделаны выводы об изменении структуры растительного покрова лесов и горных тундр при аэротехногенной сукцессии [42–44]. Рассмотрены восстановительные сукцессии в северо-таежных еловых лесах при снижении уровня загрязнения [45]. На основе изучения многолетней динамики лесных сообществ был сделан вывод о темных хвойных зеленомошных лесах на дренированных песчаных почвах как финальной стадии пирогенной сукцессии [46]. При изучении грибного компонента в структуре лесных фитоценозов проанализирована динамика состава дереворазрушающих грибов на разных стадиях послепожарной сукцессии в северо-таежных лесах [47].

Типологическое геоботаническое картографирование в Мурманской области является одновременно результатом и средством познания важнейших региональных закономерностей строения и состояния растительного покрова. Опубликована карта растительности (1:50 000) части территории Лапландского заповедника [48], района окрестностей комбината «Североникель» в Мончегорске [17]. На основе анализа наземной и дистанционной информации (аэрофото- и космических снимков) создана карта растительности центральной части Мурманской области (1:100 000), включая большую часть Лапландского заповедника, а также горного массива Хибин и техногенно трансформированные окрестности металлургического комбината «Североникель» [49]. При использовании различных дистанционных и полевых данных дана оценка современного состояния и факторов дифференциации растительности, а также влияния различной хозяйственной деятельности человека на состав и структуру растительного покрова этого района [50, в печати]. Для легенды карты тундровой и лесотундровой растительности области предложены типы тундровых и лесных биотопов на основе признаков фитоценозов и положения сообществ в ландшафте [24, 51].

Вкладом в теоретическое обоснование природоохранных мер в Мурманской области был анализ фитоценотической активности «краснокнижных» видов и выделение наиболее ценные типов биотопов [52, 53]. Результатом, в частности, был вывод о ценотической сопряженности ряда редких видов сосудистых растений и их связи с редкими в области типами фитоценозов [54], а также

ценотической обусловленности группировок редких видов мохообразных, лишайников и цианопрокариот [55].

Огромную работу по инвентаризации наиболее ценных для сохранения биологического разнообразия территорий на северо-западе Европейской части России (включая Мурманскую область) провел большой коллектив исследователей [56]. Целью этой работы была также оценка современного состояния растительного покрова по единой методике, в основе которой – использование данных дистанционного зондирования для получения наиболее объективных и актуальных результатов. К большому сожалению, как обзор ценных биотопов, так и картографические материалы выполнены вне геоботанического контекста, по крайней мере для Мурманской области. Если бы авторы полностью использовали имеющийся теоретический геоботанический задел, то при данном объеме и качестве дистанционных материалов, а также исключительно высоком уровне классификации изображений могли бы быть получены ценные научные результаты.

Таким образом, современный спектр геоботанических исследований в Мурманской области чрезвычайно богат и разнообразен и в целом репрезентативно отражает направления развития геоботаники в России. Это инвентаризация и картографирование растительного покрова области; формирование баз геоботанических данных; определение положения Мурманской области в региональных и циркумполярных системах геоботанических данных; выяснение путей исторического развития растительного покрова; оценка состояния, анализ динамики и структуры растительного покрова в зонах антропогенного воздействия (в том числе, при использовании дистанционного зондирования); выявление наиболее ценных типов растительных сообществ и разработка необходимых мер для их охраны.

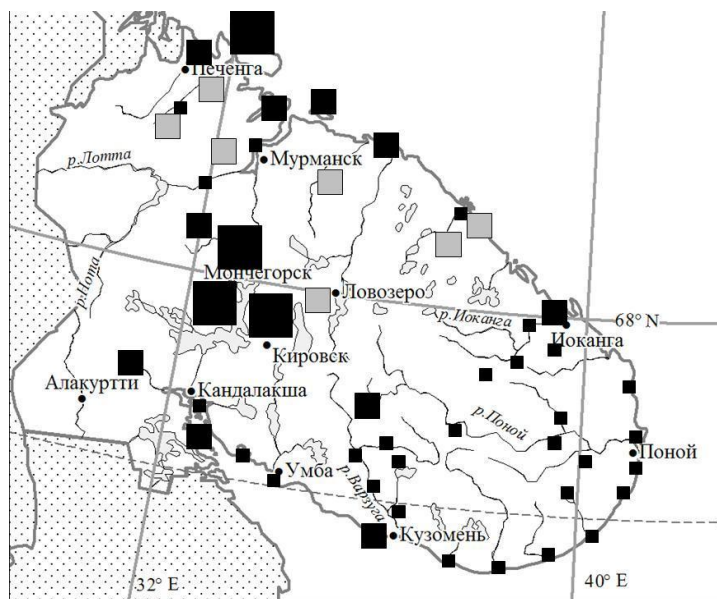


Рис. 2. Геоботаническая изученность Мурманской области:

■ районы, где описаны отдельные типы растительности (есть менее 25 геоботанических описаний для одного или нескольких типов растительности);

■ районы, где разнообразие растительности выявлено в значительной степени (есть от 25 до 100 описаний для всех основных типов растительности);

■ районы, где разнообразие растительности выявлено почти полностью (более 100 описаний для практически всех типов растительности).

Черные квадраты – опубликованные геоботанические описания, серые –

предполагаемые к опубликованию (под опубликованными подразумеваются данные в книгах и научных журналах, защищенных диссертациях и в электронных базах данных, доступных для широкой аудитории)

Результаты и методы геоботанических исследований вполне соответствуют международному уровню – о чем свидетельствует, в частности, постоянное участие геоботаников, работающих в Мурманской области, в международных проектах. Тем не менее, «плотность» исследований на территории области крайне неравномерна (рис. 2). Наиболее исследована освоенная центральная лесная часть, а растительный покров восточной и северо-восточной части области изучен совершенно недостаточно, что в основном связано с труднодоступностью этого района. Необходимо дальнейшее изучение и классификация старовозрастных лесов на юге и юго-востоке области. Малоизученными остаются болота области – один из преобладающих по площади, видовому и структурному разнообразию типов растительности. Особенно актуально создание карты современной растительности Мурманской области на основе данных полевых материалов и дистанционной информации, поскольку имеющейся карте уже более полувека, а современные крупномасштабные геоботанические карты охватывают лишь небольшую, наиболее освоенную часть территории области.

Проблемы развития геоботанических исследований в Мурманской области

Современная геоботаника в значительной степени реализуется как наукоемкая технология. Именно таким образом используются геоботанические данные в геоботанической экспертизе как части ОВОС, при описании и паспортизации охраняемых природных территорий, в различных фитоиндикационных исследованиях, а также при типологическом геоботаническом картографировании. Дальнейшее социально-экономическое развитие Мурманской области связано с освоением, устойчивым и долговременным использованием ее природных богатств, при формировании баланса между развитием региона и сохранением его биологического разнообразия. Именно поэтому региону требуются квалифицированные экологи, бакалавры и магистры, обладающие «технологическими» геоботаническими знаниями, способные справиться с непростыми региональными проблемами инвентаризации природных ресурсов (в том числе, растительного покрова), экологической экспертизы и мониторинга результатов антропогенного воздействия на наземную фитобиоту.

В настоящее время по специальностям «экология» и «экология и природопользование» ведут подготовку студентов три высших учебных заведения Мурманской области, но в их учебных программах нет курса геоботаники. Такой курс читался студентам-геоэкологам АФ МГТУ, но с 2011 г. был исключен из учебной программы. Таким образом, базовый уровень геоботанических знаний для студентов Мурманской области недоступен. Та же ситуация и с некоторыми другими биологическими дисциплинами, в частности, к обучению студентов-экологов и биологов не привлекаются специалисты, активно работающие в сфере изучения и охраны наземного фиторазнообразия. Вследствие этого студенты не получают полного представления о современном уровне развития наук о биоразнообразии, о составе и методах изучения наземной фитобиоты и о способах реализации научных достижений на практике.

Отсутствие у экологов хотя бы основных, начальных геоботанических знаний становится причиной создания порой удивительных результатов экологической экспертизы. Например, в отчете о почвенно-геоботаническом мониторинге в зоне воздействия комбината «Североникель», представленном в 2010–2011 гг. одной из проектных организаций Мурманской области, предложены результаты исследования «пионерных растений – мхов и лишайников». Лишайниковый покров охарактеризован здесь как «цветные пятна», причем сделан вывод, что «распространение мхов и лишайников» и увеличение площади «цветных пятен» свидетельствует об улучшении экологической обстановки.

Но основа любого, даже самого простого геоботанического обследования – это список видов (в том числе и мхов, и лишайников) с количественной их оценкой. Разнообразие почвенных лишайников, составляющих эти «цветные пятна» может превышать несколько десятков видов, далеко не все они – «пионерные», да, в общем-то, и не растения. Их развитие связано со снижением конкурентного пресса сосудистых растений и нарушениями почвенного покрова, и весьма опосредованно – с аэротехногенным загрязнением. Делать какие-либо выводы об улучшении или ухудшении экологической обстановки, основанные на состоянии растительного покрова, невозможно без корректно проведенного геоботанического обследования и анализа, с которым данный текст не имеет ничего общего.

В целом при существующем высоком уровне изученности растительного покрова и детальном многолетнем мониторинге его состояния в районе воздействия комбината «Североникель» усилиями ученых нескольких академических институтов появление таких «экспертиз» – показатель отсутствия спроса бизнеса на качественную научную продукцию. По-видимому, имеет значение наличие любого (но положительного) экспертного заключения, его уровень и содержание никем не контролируется и по большому счету никого не интересует.

Печальные последствия имеет отсутствие базового геоботанического образования у авторов и редакторов региональных учебных, справочных и энциклопедических изданий по биологии. В частности, в первых двух томах «Кольской энциклопедии» [57] в нескольких статьях о растительном покрове области после лихой редакторской правки мало что осталось от авторского текста, зато появился целый букет ошибок – от синтаксических до смысловых. В результате два первых тома этого издания, в части очерков о растительности области, содержат устаревшую и неверную информацию и, к сожалению, не могут быть использованы как справочное научное пособие.

Невнимание к региональным геоботаническим исследованиям негативно сказывается и на уровне достижений других наук о Земле, в частности, на развитии тематического картографирования. Посмотрим, как при современном уровне развития геоинформационных систем и повсеместном

широком использовании дистанционной информации, в том числе и о растительности, выглядит, в частности, тундровая зона Кольского полуострова на разнообразных мелкомасштабных картах актуальной растительности.

Карта Циркумпольярной растительности Арктики (Circumpolar Arctic Vegetation Map, CAVM, [58]), масштаб 1:7 500 000, была выполнена по данным космических снимков, сделанных сканирующим радиометром AVHRR со спутника NOAA, пространственное разрешение 1 км. Кольский полуостров на карте – «белое пятно», по мнению авторов, здесь представлены не тундры, а атлантические приокеанические пустоши (очевидно, те же, что на побережьях Франции, Испании и Португалии).

Карта растительности нескольких административных подразделений Северо-Запада России (Мурманской, Архангельской, Ленинградской, Вологодской областей и Республики Карелия), масштаб 1:2 500 000, была создана при инвентаризации региональных биологически ценных растительных сообществ и сети охраняемых территорий [56]. Не проведена генерализация карты и легенды, не выдержан иерархический принцип построения легенды. Горные и зональные тундры Кольского полуострова объединены в один тип выделов, поэтому «пятна» зональной тундры появляются в лесной зоне.

Карта наземных экосистем Северной Евразии [59] была создана по данным спутникового прибора SPOT-Vegetation с пространственным разрешением около 1 км. Общие для всей огромной тундровой территории России классы легенды («полярная кустарничковая тундра» и «травянистая тундра») никак не соотношены с реальным растительным покровом и не отражают реальные географические закономерности его распределения. Так, в частности, в качестве преобладающего тундрового типа для Кольского полуострова на карте показана «травянистая тундра», которая, в действительности, имеет здесь очень незначительное распространение.

Столь высокое разнообразие «отражений объективной реальности» можно объяснить как невниманием к результатам местных и региональных геоботанических исследований, так и отсутствием базовой геоботанической подготовки картографов. Так скоро на картах Мурманской области на месте тундровой зоны впору будет рисовать драконов – как на средневековых картах неизведанных земель.

Заключение

Наблюдаемое «параллельное» развитие научных геоботанических исследований и практического применения их результатов, невостребованность и отсутствие преемственности геоботанических знаний на региональном и местном уровне может привести к необратимым последствиям. Молодые специалисты-экологи и биологи уже теперь имеют слабое представление о том, что собой представляет растительный покров области и о том, что растет у них под ногами, современные технически безупречные карты растительности не отображают реальную растительность, а результаты экологической экспертизы не дают реального представления, что мы можем потерять из-за того или иного антропогенного воздействия. Отсутствие геоботаники в учебных программах биологических факультетов и отсутствие специалистов-геоботаников в составе преподавателей обедняет фундаментальное содержание образования, снижает уровень подготовки студентов, необходимый для работы в регионе и в целом может негативно повлиять на социально-экономическое развитие области. Реальной интеграции науки и высшего образования в области изучения растительности можно достичь лишь при введении учебного курса геоботаники в программу биологических и экологических факультетов высших учебных заведений Мурманской области с использованием в его преподавании знаний и опыта практикующих специалистов-геоботаников из институтов Академии наук.

Автор статьи признательна коллегам С.В. Чиненко (БИН РАН) и Е.А. Боровичеву (ПАБСИ, ИППЭС КНЦ РАН) за конструктивное обсуждение основных положений статьи.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Rübel A.E.* Ecology, plant geography, and geobotany: their history and aim // *Bot. Gaz.* 1927. Vol. 84, № 4. P. 428–439.
2. *Сочава В.Б.* К вопросу о содержании и методах геоботаники // *Бот. журн.* 1948. Т. 37, № 2. С. 273.
3. *Schaminée J.H.J., Hennekens S.M., Chytrý M., Rodwell J.S.* Vegetation-plot data and databases in Europe: an overview // *Preslia.* 2009. Vol. 81. P. 173–185.
4. *Нешатаева В.Ю.* О работе секции «Геоботаника» на XII Делегатском съезде Русского ботанического общества // *Растительность России.* 2008. № 13. С. 34–35.
5. *Regei K.* Die Pflanzendecke der Halbinsel Kola // *Memories de la faculte des sciences de l'universite de Lithuanie,* 1922–1923.

Tail 1. *Lapponia lmandrae*. 246 S. Tail 2. *Lapponia ponoensis*. 206 S. **6.** *Kalala A.* Über Wiesen and wiesenartige Pflanzengesellschaften auf der Fischerhalbinsel in Petsamo Lappland // *Acta Forest. Fenn.* 1939. Bd. 48, № 2. 523 S. **7.** *Kalliola R.* Pflanzensoziozoologische Untersuchungen in der alpinen Stufe Finnisch Lapplands // *Ann. Bot. Soc. Zool. Bot. 'Vanamo'*. 1939. Bd. 14. 321 S. **8.** *Kujala V.* Untersuchungen über Waldtypen in Petsamo und an angrenzenden Teilen von Inari Lappland // *Commun. Inst. Quaeestionum Forestalium Finlandiae*. 1929. Vol. 13, № 9. 120 S. **9.** *Цинзерлинг Ю.Д.* География растительного покрова северо-запада Европейской части СССР. Л.: Изд-во АН СССР, 1934. 378 с. **10.** *Цинзерлинг Ю.Д.* Материалы по растительности северо-востока Кольского полуострова. – М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1935. 162 с. **11.** *Цинзерлинг Ю.Д.* Растительность болот // *Растительность СССР*. М.; Л., 1938. Т. 1. С. 355–428. **12.** *Салазкин А.С., Самбук Ф.В. и др.* Олены пастбища и растительный покров Мурманского округа / *А.С. Салазкин, Ф.В. Самбук, О.С. Полянская, М.И. Пряхин* // Тр. Арктического института, 1936. Т. LXXII. JL. 307 с. **13.** *Чернов Е.Г.* Карта растительности Кольского полуострова в масштабе 1:1 000 000 с пояснительным текстом: дис. ... канд. биол. наук. Кировск, 1953. 274 с. **14.** Карта растительности Европейской части СССР. 1:2 500 000 / отв. ред. Е.М. Лавренко. М.: Академия наук СССР, Ботанический институт им. В.Л. Комарова, 1948. **15.** Геоботаническая карта СССР. 1:4 000 000 / отв. ред. В.Б. Сочава. М.: ГУГК, 1955 г. **16.** Атлас Мурманской области. М.: ГУГК, 1971. **17.** Экологический атлас Мурманской области / Институт экологии Севера КНЦ РАН. М.; Апатиты, 1999. **18.** *Koroleva N.E.* Mountain Birch Forests of Murmansk Province, Russia // *Skograektarrifith*, 2001. P. 137–143. **19.** *Королева Н.Е.* Синтаксономический обзор болот тундрового пояса Хибинских гор (Мурманская область) // *Растительность России*. 2001а. № 2. С. 49–57. **20.** *Королева Н.Е.* Синтаксономический обзор горно-тундровой растительности Хибин // *Бюл. МОИП, отд. биол.* 2001b. Т. 106, вып. 4. С. 50–57. **21.** *Королева Н.Е.* Безлесные растительные сообщества побережья Восточного Мурман (Кольский полуостров, Россия) // *Растительность России*. 2006. № 9. С. 20–42. **22.** *Королева Н.Е.* К синтаксономии растительных сообществ с доминированием *Dryas octopetala* L. в Фенноскандии и на Шпицбергене // Тр. Карельского НЦ РАН. 2011а. № 1. С. 23–36. **23.** *Ermakov N., Morozova O.* Syntaxonomical survey of boreal oligotrophic pine forests in northern Europe and Western Siberia // *Applied Vegetation Science*. 2011. Vol. 14. P. 524–536. **24.** *Королева Н.Е.* Основные биотопы северо-таежных лесов и березовых криволинейных Мурманской области: ландшафтное и ботаническое разнообразие, необходимость охраны // *Вестник МГТУ*. 2011b. Т. 14, вып. 4. С. 812–832. **25.** *Королева Н.Е. и др.* Сообщества маршей, пляжей и приморского пойменного эфемеретума Мурманского, Терского и востока Кандалакшского берега (Мурманская область) / *Н.Е. Королева, С.В. Чиненко, Э.Б. Сорпланд* // *Фитогеография Восточной Европы*. 2011. Т. 9. С. 26–62. **26.** *Чиненко С.В.* Положение восточной части баренцевоморского побережья Кольского полуострова в системе флористического районирования: дис. ... канд. биол. наук. СПб., 2008. 468 с. **27.** *Kremenetski S., Vaschalova T., Sulerzhitsky L.* The Holocene vegetation history of the Khibiny Mountains: implications for the postglacial expansion of spruce and alder on the Kola Peninsula, northwestern Russia // *Journ. of Quaternary Science*. 1999. Vol. 14, № 1. P. 29–43. **28.** *Елина Г.А., Филимонова Л.В.* Динамика растительности северо-запада Кольского полуострова в голоцене // *Бот. журн.* 2000. Т. 85, № 9. С. 34–55. **29.** *Елина Г.А. и др.* Послеледниковье и голоцен Восточной Фенноскандии (палеорастительность и палеогеография) / *Г.А. Елина, А.Д. Лукашов, Т.К. Юрковская*. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2000. 241 с. **30.** *Кутенков С.А., Стойкина Н.В.* Реликтовые торфяники островов Белого моря // Тр. Карельского НЦ РАН. 2010. № 1. С. 52–56. **31.** *Нешатаев В.Ю., Нешатаева В.Ю.* Еловые леса и редколесья Лапландского заповедника // Коренные леса таежной зоны Европы: современное состояние и проблемы сохранения: матер. Междунар. конф. Петрозаводск, 6–8 июля 1999 г. С. 210–212. **32.** *Нешатаев В.Ю., Нешатаева В.Ю.* Синтаксономическое разнообразие сосновых лесов Лапландского заповедника // *Бот. журн.* 2002. Т. 87, № 1. С. 99–121. **33.** *Koroleva N.E.* Snow-bed plant communities of the Lapland Nature Reserve (Murmansk Region, Russia) // *Chemosphere (CHEGLO)*. 1999. Is.1, № 4. P. 429–437. **34.** Первые итоги изучения растительности заповедника «Пасвик» / *В.Ю. Нешатаев, Е.М. Колцева, Н.Ю. Нацваладзе, И.Ю. Стурлис, М.В. Нешатаев* // *Летопись природы заповедника «Пасвик»*. Кн. 14. «Государственный природный заповедник Пасвик», 2007. Апатиты: Изд. КНЦ РАН, 2011. С. 45–85. **35.** *Поликарпова Н.В.* Ландшафтное картографирование особо охраняемых природных территорий на примере заповедника «Пасвик» // *Ландшафтная экология*. Вып. 4. М.: РИЦ «Альфа», 2004. С. 48–62. **36.** *Ушакова Г.И., Шмакова Н.Ю. и др.* Влияние видового состава и структуры фитомассы растительных сообществ на накопление углерода в горных и предгорных биогеоценозах Хибин / *Г.И. Ушакова, Н.Ю. Шмакова, Н.Е. Королева* // *Бюл. МОИП, отд. биол.* 2004. Т. 109, вып. 2. С. 57–65. **37.** *Ushakova G.N., Schmakova N.Yu., Koroleva N.E.* Spatial analysis of soil, vegetation, productivity, and carbon stored in mountain tundra ecosystems, Khibiny Mountains, Russia // *Polar Geography*. 2003. Vol. 27, № 3. P. 210–225. **38.** *Никонов В.В., Лукина Н.В. и др.* Влияние ели и сосны на формирование первичной продуктивности нижними ярусами хвойных лесов Кольского полуострова / *В.В. Никонов, Н.В. Лукина, Е.В. Смирнова, Л.Г. Исаева* // *Бот. журн.* 2002. Т. 87, № 8. С. 112–124. **39.** *Ярмишко В.Т.* Сосна обыкновенная и атмосферное загрязнение на европейском севере. СПб.: Изд-во НИИ химии СПбГУ, 1997. 210 с. **40.** Проблемы экологии растительных сообществ Севера / отв. ред. *В.Т. Ярмишко*. СПб.: БИН РАН, 2005. 450 с. **41.** Динамика лесных сообществ северо-запада России / отв. ред. *В.Т. Ярмишко*. СПб.: БИН РАН, 2009. 275 с. **42.** *Hofgaard A., Rees G, Tømmervik H, Tutubalina O., Golubeva E., Lukina N., Høgda K.A., Karlsen S.R., Isaeva L., Kharuk V.* Role of disturbed vegetation in mapping the boreal zone in northern Eurasia // *Applied Vegetation Science*. 2010. Vol. 13, is. 4. P. 460–472. **43.** *Rees W.G., Williams M.* Monitoring changes in land cover induced by atmospheric pollution in the Kola Peninsula, Russia, using Landsat-MSS data // *International Journal of Remote Sensing*. 1997. Vol. 18. P. 1703–1723. **44.** *Tømmervik H., Høgda K. A., Solheim I.* Monitoring vegetation changes in Pasvik (Norway) and Pechenga in Kola Peninsula (Russia) using multitemporal Landsat MSS/TM data // *Remote Sensing of Environment*. 2003. Vol. 85. P. 370–388. **45.** *Черненко Т.В., Кабилов Р.Р. и др.* Восстановительные сукцессии северотаежных ельников при снижении аэротехногенной нагрузки / *Т.В. Черненко, Р.Р. Кабилов, Е.В. Басова* // *Лесоведение*. 2011. № 6. С. 49–66. **46.** *Нешатаев В.Ю., Добрыш А.А. и др.* Послепожарная динамика лесной растительности Лапландского заповедника и ее картографирование / *В.Ю. Нешатаев, А.А. Добрыш, М.В. Нешатаев, А.О. Пестеров* // *Хвойные леса северных широт – от исследования к экологически ответственному лесному хозяйству* / отв. ред. Х. Кауханен, В. Нешатаев,

Э. Хухта, М. Вуопио. Juväskylä. 2009. С. 70–86. **47. Исаева Л.Г.** Разнообразие еловых лесов и афиллофороидных грибов Мурманской области / Л.Г. Исаева, Ю.Р. Химич, В.А. Костина // Хвойные леса северных широт – от исследования к экологически ответственному лесному хозяйству / отв. ред. Х. Кауханен, В. Нешатаев, Э. Хухта, М. Вуопио Juväskylä. 2009. С. 49–60. **48. Нешатаев В.Ю.** (ред.) Лапландский государственный заповедник. Восточная часть. Растительный покров. Масштаб 1: 50 000. СПб.: СПбГЛТА, БИН РАН, ООО «Аконит», 2008. 2 листа. **49. Пузаченко М.Ю., Черненко Т.В. и др.** Природно-антропогенная вариабельность растительного покрова центральной части Мурманской области и ее картографическое отображение / М.Ю. Пузаченко, Т.В. Черненко, Е.В. Басова // Отечественная геоботаника: основные вехи и перспективы: материалы Всерос. науч. конф. с междунар. уч. СПб., 2011. Т. 1. С. 408–411. **50. Пузаченко М.Ю., Черненко Т.В. и др.** Анализ природно-антропогенной неоднородности растительного покрова центральной части Мурманской области / М.Ю. Пузаченко, Т.В. Черненко, Е.В. Басова // Разработка методов мониторинга и оценки биоразнообразия лесов России на основе наземных обследований и спутниковой информации, 2012. **51. Королева Н.Е.** Основные биотопы горных и зональных тундр Мурманской области // Вестник МГТУ. 2008. Т. 11, № 3. С. 533–542. **52. Блинова И.В.** Биология орхидных на северо-востоке Фенноскандии и стратегии их выживания на северной границе распространения: автореф. дис. ... д.б.н. М., 2009а. 44 с. **53. Королева Н.Е.** Основные биотопы горных и зональных тундр Мурманской области и распределение редких видов растений // Бюл. МОИП, отд. биол. 2010. Т. 115, вып. 1. С. 30–40. **54. Блинова И.В.** Популяционные исследования редких видов сосудистых растений в Мурманской области // Разнообразие растений, лишайников и цианопрокариот Мурманской области: итоги изучения и перспективы охраны / кол. авт.; отв. ред. Н.А. Константинова. СПб., 2009б. С. 90–100. **55. Боровичев Е.А., Костина В.А. и др.** Некоторые ключевые ботанические территории Лапландского заповедника (Мурманская область) / Е.А. Боровичев, В.А. Костина, С.С. Шалыгин // Труды Карельского Научного Центра РАН. Сер. Биогеография. 2011. № 9, вып. 11 **56.** Сохранение ценных природных территорий Северо-Запада России. Анализ репрезентативности сети ООПТ Архангельской, Вологодской, Ленинградской и Мурманской областей, Республики Карелия, Санкт-Петербурга / кол. авт.; под ред. К.Н. Кобякова. СПб., 2011. 506 с. **57.** Кольская энциклопедия / Ю.А. Евдокимов (предс. НИС). СПб.: ИС; Апатиты: КНЦ РАН, 2008, 2009. Т. 1. 594 с.; Т. 2. 495 с. **58. Walker D.A.** (ed.) Circumpolar Arctic Vegetation map. Scale 1:7500000. Anchorage, 2003. 1 Sh. [CAVM Team]. **59. Барталев С.А., Белвард А.С., Ершов Д.В., Исаев А.С.** Карта наземных экосистем Северной Евразии по данным SPOT-Vegetation. Проект Global Land Cover 2000. Информационная система TerraNorte. Институт космических исследований РАН, 2004.

Интернет-ресурсы:

<http://www.binran.ru/geobot2011/index.htm>

<http://rbo.krc.karelia.ru/>

Сведения об авторе

Королёва Наталья Евгеньевна – к.б.н., старший научный сотрудник: e-mail: flora012011@yandex.ru

ГЕОХРОНОЛОГИЧЕСКОЕ СООТНОШЕНИЕ МАНТИЙНЫХ ПРОЦЕССОВ ГОМОГЕНИЗАЦИИ И ДИФФЕРЕНЦИАЦИИ ЗЕМЛИ

Ю.А. Балашов

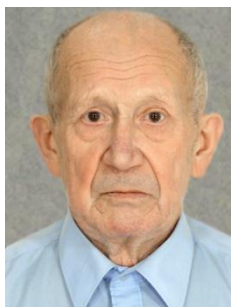
Геологический институт КНЦ РАН

Аннотация

Проблемы исходного состава и эволюции мантии и коры в геологическом времени слабо изучены, так как процессы генерации всех оболочек и ядра Земли рассматриваются без учета главных процессов – сочетания гомогенизации и дифференциации исходного метеоритного разнообразия, формировавшего Землю. В статье сделана попытка более строгого учета влияния гетерогенного состава метеоритов. Обнаружено два типа мантийных процессов: ранний (архейский-протерозойский) со следами интенсивной гомогенизации и поздний (преимущественно фанерозойский) с признаками интенсивной вторичной дифференциации.

Ключевые слова:

коматииты и базальты зеленокаменных поясов, щелочные серииты и офиолиты, редкоземельные элементы – отношение Sm/Nd как индикатор вариаций состава пород и метеоритов.



Важнейший аспект проблемы исходного состава и эволюции мантии и коры в геологическом времени в действительности слабо затронут в современной литературе. Почти ничего не известно о степени гомогенизации состава мантии на стадии аккреции, хотя это имеет прямое отношение к расшифровке эволюции состава древнейших архейских гранит-зеленокаменных систем (ГЗС) в длительной истории развития верхних оболочек Земли [1, 2 и др.]. Идентификация стиля развития ГЗС и других типов магм возможна при использовании геохимической информации, в частности, редкоземельные элементы, среди которых Sm и Nd методами изотопного анализа

возможно

определять их концентрацию с высокой точностью по ^{147}Sm и ^{143}Nd для отношения Sm/Nd и для возраста пород, что и является предметом обсуждения в предлагаемой статье.

Прежде всего, отметим, что наблюдаемые исходные изотопно-геохимические особенности ранней аккреционной стадии касаются обычно лишь хондритовых метеоритов. Для них фиксируется среднее отношение $Sm/Nd = 0.3238$ [3 и др.], отвечающее потоку «солнечного ветра» (или хондритам C1 и их фрагментам: 0.3318) [4 и др.]. Максимальный диапазон вариации Sm/Nd достигает в хондритах 0.3 (рис. 1). Этот интервал значительно уступает современным наблюдаемым

вариациям в пределах континентальной и океанической мантии – примерно вдвое [2]. Что означает это различие? Последовательное наращивание геохимической дифференциации в мантии и ее магмах в течение 4.56 млрд лет, или мантия имела более сложный состав и развитие? Не исключено, что сопоставление с

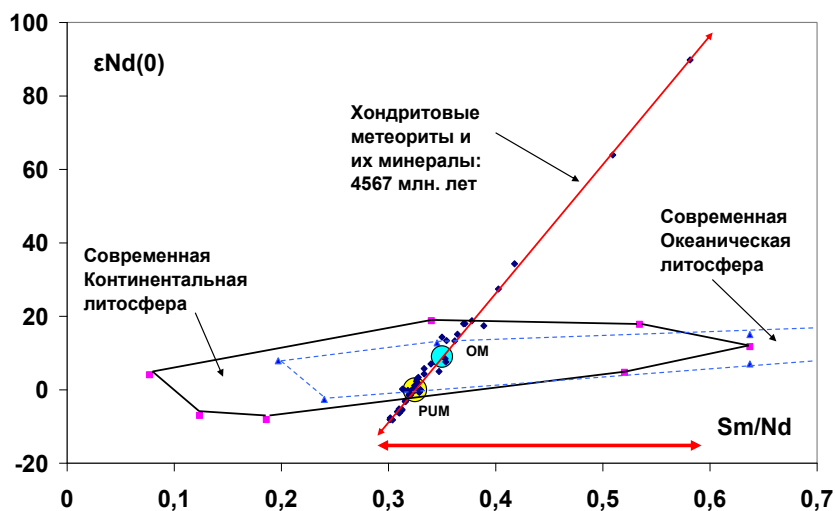


Рис. 1. Контрастность измеренных изотопных параметров в системе $^{147}Sm/^{144}Nd$ между хондритами и базальтами современной литосферы Земли. $Sm/Nd \times 0.6045 = ^{147}Sm/^{144}Nd$. OM и PUM – среднее для океанической и континентальной мантии [2, 5 и др.]

хондритами С1 – ошибочный вариант и необходимо сопоставлять с более широким спектром метеоритов. Добавление данных по эвкритам и Fe-метеоритам (рис. 2) показало, что диапазон вариаций для отношения Sm/Nd в метеоритах увеличивает геохимическую неоднородность примерно в 2–3 раза, что согласуется с диапазоном изменения Sm/Nd не только в современном уровне для континентов и океанической зоны Земли, но и наследуется на самой ранней стадии аккреции. Следовательно, должны существовать другие мантийные процессы. Если обратиться к сумме данных по архейским ГЗС (рис. 2), то для них определенно фиксируется последовательное направленное снижение гетерогенности (табл. 1 и 2).

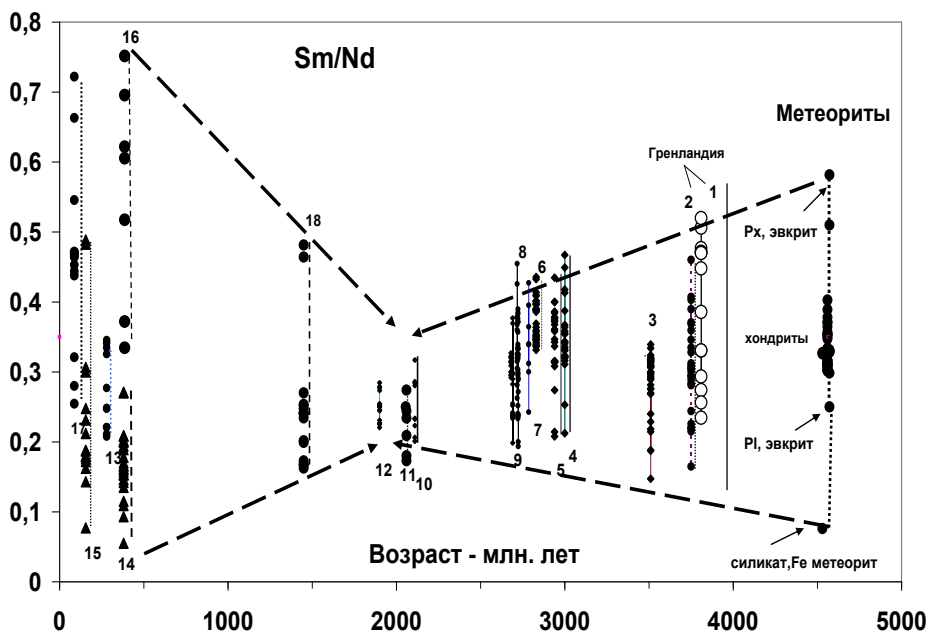


Рис. 2. Два тренда развития гетерогенности литосферы по данным о вариациях отношения Sm/Nd для перидотитовых ксенолитов и мантийных магм [5–16]:

Метеориты – хондриты, эвкриты, хондры и их минералы, силикатные включения в железистых метеоритах; 1–12 – коматиит-базальтовые комплексы зеленокаменных поясов и зон: 1 – Ю.-З. Гренландия, Исуа (Isua, 3810 млн лет), 2 – Ю.-З. Гренландия, Исуа (Isua, 3750 млн лет), 3 – Ю. Африка, Онвервахт

(Onverwacht, 3510 м.л.), 4 – Канада, Лумби Лэйк и Учи (Lumdy Lake and Uchi, Balmer, (≈ 3000 м.л.), 5 – Карелия: Койкарская, Паласельгинская, Совдозерская и Хаутавааринская структуры (≈ 2940 м.л.), 6 – Карелия, Костомукшинская структура (2830 м.л.), 7 – Канада, Визейн (Vizien, 2786 м.л.), 8 – Канада, Абитиби (Abitibi, 2718 м.л.), Визейн Vizien (2724 м.л.), Австралия, Камбалда (Kambalda, 2722 м.л.), 9 – Австралия, Уилгарн (Yilgarn, 2700 м.л.), 10 – Французская Гвиана, Дачин (Dachine, 2110) м.л.), 11 – Ю. Китай, Северная Гуанх Провинция (Northern Guangxi Province, 2015 м.л.), 12 – Ю. Африка, Бушвельд (Bushveld, 2060 м.л.), 13 – Австралия, Новый Южный Уэльс (New South Wales, 280 м. л), 14 – Агпаитовые щелочные комплексы, ультрабазитовые ксенолиты и магмы Кольской палеозойской провинции (380 м.л.), 15 – ксенолиты ипсилевых перидотитов в океанических базальтах (Кергелен, о. Св. Павла, Забаргат, 280 м.л.), 16 – Ксенолиты в щелочных породах (260 м.л.), 17 – Колумбия, Горгона коматииты и базальты (88), 18 – офиолиты Урала (387)

Таблица 1

Диапазон вариаций Sm/Nd в коматиитах ГЗС

Объект	млн лет	n	Диапазон вариаций	Интервал
Хондриты+ эвкриты+ Fe-метеориты	4566	63	0.58–0.10	0.48
Коматииты, Исуа, З. Гренландия	3800	17	0.57–0.19	0.38
Коматииты, Онвервахт, Ю.Африка	3450	18	0.32–0.15	0.17
Коматииты, Лумби Лайк. Сьюп., Канада	3000	6	0.41–0.21	0.20
Коматииты, Бальмер. Сьюпериор, Кан	2992	3	0.45–0.34	0.11
Коматииты, В.Карелия	2940	14	0.4–0.31	0.09
Коматииты, Костомукша, З. Карелия	2843	13	0.44–0.34	0.10
Коматииты+перидотиты, Камбалда	2722	11	0.39–0.33	0.06
Коматииты, Франц. Гвиана	2110	9	0.32–0.20	0.11
Коматииты, Горгона	88	7	0.54–0.46	0.07

Современная контнент. литосфера	0	*	0.6–0.05	0.55
---------------------------------	---	---	----------	------

Возрастное различие между разными ГЭС может быть следствием более интенсивной вторичной переработки – метаморфизме и метасоматозе архейских комплексов относительно протерозойских или отражать большую степень гомогенизации мантийной оболочки в более молодых породах. Достаточно строгая однотипная направленность изменения отношения Sm/Nd отдельно для коматиитов и базальтов (табл. 1 и 2) заставляет рассматривать это явление как результат глобального процесса гомогенизации мантии по крайней мере для ранних докембрийских этапов вплоть до интервала времени около 2.0–2.3 млрд лет, когда в более молодой мантии вновь появляется и усиливается степень гетерогенности в сторону фанерозоя. В последние ~ 2.0 млрд лет обнаруживается возрастание фракционирования по отношению Sm/Nd в мантийных ксенолитах и магмах разного состава. Это в итоге реализуется в формировании новой, современной литосферной неоднородности, записанной в совокупности перидотитов, щелочных комплексов и офиолитов. По существу этот второй этап соответствует изменению мантийных источников – преобладанию более глубоких астеносферных и малоглубинных из зоны генерации на границе континент–океан.

Таблица 2

Диапазон вариаций Sm/Nd в базальтах ГЭС

Объект	млн лет	n	Диапазон вариаций	Интервал
Хондриты + эвкриты+ Fe-метеориты	4566	63	0.58–0.10	0.48
Базальты+габбро, Исуа, Гренландия	3800	39	0.39–0.16	0.23
Базальты, Онвервахт, Ю. Африка	3450	14	0.34–0.19	0.15
Базальты, Лумби Лайк., Канада	3000	8	0.37–0.31	0.06
Базальты, Бальмер.Сьюпериор, Кан.	2992	4	0.47–0.33	0.14
Базальты, В.Карелия **	2940	8	0.43–0.31	0.12
Базальты, Костомукша, З.Карелия	2843	6	0.44–0.34	0.10
Базальты, Камбалда, Австралия	2722	16	0.34–0.23	0.11
Коматиитовые базальты, Китай	1900	17	0.28–0.22	0.06
Базальты+пикриты, Горгона	88	8	0.72–0.25	0.47
Современная континент, литосфера	0	*	0.6–0.05	0.55

Примечание. * – $n > 200$; ** – имеется еще два базальта с Sm/Nd < 0.22 [5].

Таким образом, фактор космической неоднородности ме-теоритного материала выступает лишь как первичная неоднородность, в той или иной форме влияющая на геохимические соотношения в мантии ранней Земли и в ее верхней зоне – литосфере, наследованной от этапа аккреции. Это свидетельствует об ограниченных масштабах гомогенизации силикатной оболочки в древнейших породах и позволяет поддержать версию о существовании процессов крупномасштабной гомогенизации на последующих этапах существования мантии. Такой эффект для более молодой литосферы сменяется противоположной тенденцией – появлением разнотипных и разноглубинных континентальных типов магм преимущественно из астеносферных и более глубоких частей мантии, а также пограничных зон между континентами и океанами. Иначе говоря, возрастание степени гетерогенности в сторону фанерозоя отражает изменение характера тектоники магматизма – приуроченности к глубинным разломам в архейском основании. Это в итоге реализуется в формировании гигантской современной литосферной гетерогенности при расширении типов источников в мантии.

Открытие двухэтапной эволюции гетерогенности литосферы позволяет внести определенные коррективы в представления об истории становления и взаимодействия геосфер Земли и по новому осмыслить другие смежные геологические, геодинамические и геохимические проблемы, в том числе и о потенциальной рудоносности мантийных магм. Подчеркнем также, что традиционно принятый постулат нормализации отдельных элементов на среднее значение для C1 хондритов не отражает полностью исходные особенности состава Земли на стадии аккреции. По-видимому, необходимо расширить список метеоритов для более достоверного описания эволюции мантийного магматизма планеты.

ЛИТЕРАТУРА

1. Печерникова Г.В., Витязев А.В. Катастрофическое воздействие космических тел / ред. В.В. Адушкин, И.В. Немчинова. М.: ИКЦ «Академкнига», 2005. С. 251–265.
2. Balashov Yu.A. Evolution aspects of geochemical heterogeneity of the lithosphere // Deep Seated magmatism, its sources and plumes. Mias. Irkutsk. 2009. P. 86–97.
3. Anders E., Grevesse N. Abundances of the elements: Meteoritic and solar // Geochim. Cosmochim. Acta. 1989. Vol. 53. P. 197–214.
4. Amelin Yu., Rotenberg E. Sm-Nd systematics of chondrites // Earth Planet. Sci. Lett. 2004. Vol. 223. P. 267–282.
5. Коваленко В.И., Наумов В.Б. и др. Средние составы магм и мантии срединно-океанических хребтов и внутриплитных океанических и континентальных обстановок по данным изучения расплавных включений и закалочных стекол базальтов / В.И. Коваленко, В.Б. Наумов, А.В. Гирнис, В.А. Дорофеева, В.В. Ярмолюк // Петрология. 2007. Т. 15, № 4. С. 361–396.
6. Светов С.А. Магматические системы зоны перехода океан-континент в архее восточной части Фенноскандинавского щита. Петрозаводск. 2005. 229 с.
7. Arndt N.T., Kerr A., Tarney J. Dynamic melting in plume heads: the formation of Gorgona komatiites and basalts // Earth and Planet. Sci. Lett. 1997. Vol. 146. P. 289–301.
8. Bennett V.C., Nutman A.P., McCulloch M.T. Nd isotope evidence for transient, highly depleted mantle reservoirs in the early history of the Earth // Earth Planet. Sci. Lett. 1993. Vol. 119. P. 299–317.
9. Frey R., Jensen B.K. Re-Os, Sm-Nd isotope- and REE systematics on ultramafic rocks and pillow basalts from the Earth's oldest oceanic crustal fragments (Isua Supracrustal Belt and Ujaragssuit nunât are // Chem. Geol. 2003. Vol. 196. P. 163–191.
10. Jochum K.P., Arndt N.T., Hofmann A.W. Nb-Th-La in komatiites and basalts: constraints on komatiite petrogenesis and mantle evolution // Earth Planet. Sci. Lett. 1991. Vol. 107. P. 272–289.
11. Mattielli N., Weis D., Gregoire M., Mennessier J.P., Cottin J.Y., Giret A. Kerguelen basic and ultrabasic xenoliths: Evidens for long-lived Kerguelen hotspot activity // Lithos. 1996. Vol. 37. P. 261–280.
12. Арзамасцев А.А., Беа Ф. и др. Палеозойские процессы плюм-литосферного взаимодействия в северо-восточной части Балтийского щита: длительность, объемы, условия магмогенерации / А.А. Арзамасцев, Ф. Беа, Б.В. Беляцкий, В.Н. Глазнев, Л.В. Арзамасцева, А.В. Травин, П. Монтеро // Геология и полезные ископаемые Кольского полуострова. Апатиты, 2002. Т. 2, С. 104–145.
13. Ashwal L.D., Wooden J.L., Emslie R.F. // Geochim. Cosmochim. Acta. 1986. Vol. 50, № 12. P. 2571–2585.
14. Sharma M., Wasserburg G.J., Papanastassion D.A., Quick J.E., Sharkov E.V., Laz'ko E.E. High $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ in extremely depleted mantle rocks // Earth and Planetary Sci. 1995. Vol. 135. P. 101–114.

Сведения об авторе

Балашов Юрий Андреевич – д.г.-м.н, главный научный сотрудник, профессор; e-mail: balashov@geoksc.apatity.ru

ИЗМЕНЕНИЕ ЛЕТУЧЕСТИ КИСЛОРОДА В МАНТИЙНЫХ И КОРОВЫХ СИСТЕМАХ В ИНТЕРВАЛЕ ХАДЕЙ-ФАНЕРОЗОЙ

Ю.А. Балашов

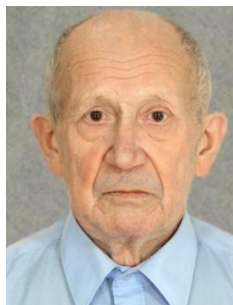
Геологический институт КНЦ РАН

Аннотация

Вариации летучести кислорода в вертикальном разрезе литосферы разделяют ее на нижнюю, с восстановительным режимом кислорода, и верхнюю окисленную зону, включающую мантийные и коровые компоненты. Но по уровню окисленности они различаются в геохронологическом плане на древнейшую в интервале хадей–протерозой и более молодую – фанерозойскую, в пределах которой отмечается резкое преобладание избытка кислорода, что имеет прямое отношение к эволюции биосферы в геологическом времени.

Ключевые слова:

литосфера, породы коры и мантии, редкоземельные элементы – отношение Ce^{+4}/Ce^{+3} в цирконах – как индикатор режима летучести кислорода в верхних оболочках Земли.



Проблема сопоставления распределения кислорода в породах и минералах коры и мантийной части литосферы возникла совсем недавно с появлением данных по измерению редкоземельных элементов – вариаций отношения четырех- и трехвалентного церия (Ce^{+4}/Ce^{+3}) в цирконах как геохимического буфера («CeB») [1, 2] для коры и мантии. Этот буфер был впервые скорректирован с петрологическим буфером FMQ [3], что позволило сопоставлять результаты по шкалам обоих буферов [1, 4]. В этой связи полезно напомнить, что согласно данным по корреляции [4] между буферами существуют соотношения, указанные в табл. 1. Они удобны для непосредственного использования аналитических данных по отношению Ce^{+4}/Ce^{+3} в цирконах мантии и коры без пересчета.

Таблица 1

Корреляция параметров геохимического (CeB) и петрологического (FMQ) буферов для летучести кислорода ($\Delta \log fO_2$) в мантийных цирконах литосферы

Ce^{+4}/Ce^{+3}	Lg: ($Ce^{+4}/+3$)	Lg: (FMQ)	Регион, порода// циркон	№ пробы
34.1	1.52	+4	Китай, перидотит ксен.	Y974-25
16.1	1.2	+3	Якутия, хромитов. ксен.	Onekh-2B
9.9	1.0	+2	Австралия, лампроит	Arg-2
5.71	0.78	+1	Якутия, кимберлит	An 152-A
3.9	0.6	0.0	Украина, долерит	023/86-26
2.47	0.4	-1	Якутия, тр. Мир, кимберлит	Mir-core-1
1.83	0.27	-2	Ю. Афр., Ноенипут, кимберлит	M32-3
1.1	0.0	-3	Ю.Африка, Монастери, кимб.	MZ-05-1
0.49	-0.75	-4	Ю.Африка, Лемфане, кимберл.	M27-3
0.14	-1.25	-5	Ю.Африка, Као 1, кимберлит	M42(2)2
0.01	-1.95	-6	Ю.Африка, Дайка 170, кимберлит	M28(8)1

Ниже сопоставлены сведения по отношению Ce^{+4}/Ce^{+3} в цирконах верхней части вертикального разреза литосферы с цирконами из пород коры в разверстке по всему геохронологическому диапазону от хадея до фанерозоя (рис. 1).

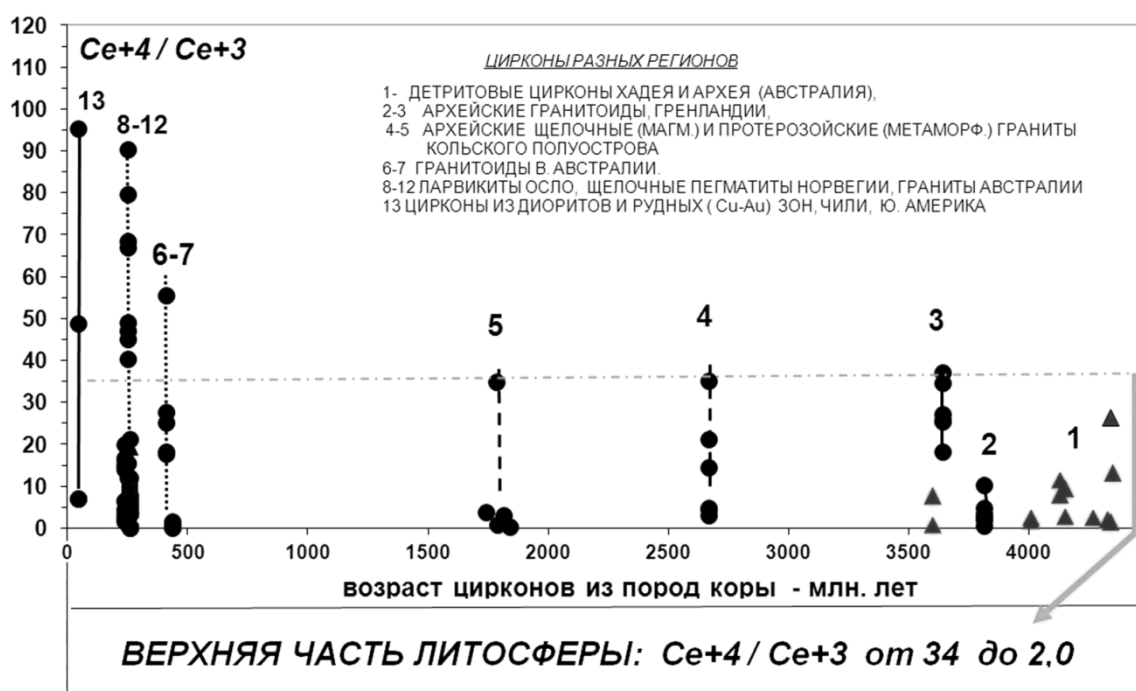


Рис. 1. Отношения Ce+4/Ce+3 в цирконах из мантийной литосферы и коры

Прежде всего, следует обратить внимание на факт почти полного совпадения диапазона вариаций отношения Ce+4/Ce+3 в цирконах верхней части мантийной литосферы и цирконах из разнообразных типов пород коры (интервал от 34 до 2), включающих хадейские и архейские детритовые цирконы Австралии [5], архейские тоналитовые и гранодиоритовые гнейсы Гренландии [6], архейские щелочные граниты Кольского полуострова и их протерозойские метаморфические разности [2] и часть гранитоидов фанерозоя Австралии и Чили [7–10]. Таким образом, наблюдается аналогия в интенсивности окисленности цирконов на всем интервале времени геологического развития коры и мантии. Очевидно также, что фанерозойские коровые породы включают гораздо более окисленные разности (по крайней мере, для возрастов моложе 500 млн лет) [8–10]. Особенно резкое увеличение отношения Ce+4/Ce+3 регистрируется в гранитоидах Чили из зон вторичного их преобразования, сопровождавшегося появлением Cu-Au оруденения. Вместе с тем, ограниченность представленного корового материала не исключает вероятности для более глубокого развернутого анализа в будущем. Во всяком случае, следует обратить особое внимание на признаки окислительной среды в глубоком хадее и архее, что имеет прямое отношение к выяснению условий зарождения жизни на Земле, поскольку повышенная летучесть кислорода в детритовых цирконах отражает с большой вероятностью существование кислорода в гидросфере и атмосфере. Здесь уместно напомнить, что изотопный состав кислорода в хадейских и архейских детритовых цирконах варьирует от 15‰ до 5.4‰ $\delta^{18}\text{O}$ [5, 11], что указывает на взаимодействие цирконов с водой (гидротермальные процессы?). Знание режимов летучести кислорода, таким образом, приобретает важнейшее значение в связи с необходимостью расшифровки истории биогенной активизации на Земле. В последние годы это нашло отражение в двух схемах циклически-стадийной эволюции биосферы [12–14]. Обе схемы условные, они отражают представления авторов о возможной эволюции «кислородной атмосферы», но не подтверждаются геохронологическими данными, использование которых позволяют описать реальную картину кислородной летучести в хадее (рис. 1). Кроме того, для цирконов верхней части мантийной литосферы отмечается отчетливое формирование в окисленной обстановке. В перидотитах и их пороодообразующих минералах выявлена повышенная концентрация H_2O и OH^- , которая сохраняется до глубин 150–160 км при FMQ от -1.4 до -0.1 [15], что сопоставимо с уровнем $\text{Ce}^{+4}/\text{Ce}^{+3}$ от 1.9 до 3.7. Громадный запас воды в верхних частях литосферы – источник выноса воды при наращивании массы океанов в геологическом времени – одновременно является условием для процессов окисления самих пород верхней части литосферы при повышенных значениях P-T параметров в литосфере. К этому следует добавить, что в современном элементном составе «солнечного ветра» постоянно присутствует большая концентрация кислорода [16], а в глубоком докембрии интенсивность этого потока превышала современный на несколько порядков [17].

ЛИТЕРАТУРА

1. Балашов Ю.А., Мартынов Е.В. Оценка летучести кислорода в литосфере по данным для редкоземельных элементов в цирконах из мантийных пород // Вестник Кольского научного центра РАН. 2012. № 1. С. 101–110.
2. Балашов Ю.А., Скублов С.Г. Контрастность геохимии магматических и вторичных цирконов // Геохимия. 2011. № 6. С. 622–633.
3. Ballhaus C. Redox states of lithospheric and asthenospheric upper mantle // Contrib.Mineral.Petrol. 1993. Vol. 114. P. 331–348.
4. Balashov Yu.A., Martynov E.V. Correlation of oxygen fugacity in the mantle lithosphere between Ce^{+4}/Ce^{+3} relation of zircons and petrological buffer FMQ // Вестник МГТУ. 2012. Т. 15, № 2. P. 311–329.
5. Peck W.H., Valley J.W., Wilde S.A., Graham C.M. Oxygen isotope ratios and rare earth elements in 3,3 to 4,4 Ga zircons: Ion microprobe evidence for high $\delta^{18}O$ continental crust and oceans in the Early Archean // Geochim. Cosmochim. Acta, 2001. Vol. 65, № 22. P. 4215–4229.
6. Whitehouse M.J., Kamber B.S. On the over abundance of light rare earth elements in terrestrial zircons and its Earth's earliest magmatic differentiation // Earth and Planet. Sci. Letters. 2002. Vol. 204. P. 333–346.
7. Belousova E.A., Griffin W.L., O'Reilly S.Y., Fisher N.I. Igneous zircon: trace element composition as an indicator of source rock type // Contrib. Mineral. Petrol. 2002. Vol. 143. P. 602–622.
8. Belousova E.A., Griffin W.L. and O'Reilly S.Y. Zircon crystal morphology, trace element signatures and Hf isotope composition as a tool for petrogenetic modeling: examples from Eastern Australian granitoids // J. Petrology. 2006. Vol. 47, № 2. P. 329–353.
9. Hoskin P.W.O., Kinny P.D., Wyborn D., Chappell B.W. Identifying accessory mineral saturation during differentiation in Granitoid Magmas: an Integrated Approach // J. Petrology. 2000. Vol. 41, № 9. P. 1365–1396.
10. Ballard J.R., Palin J.M., Campbell I.H. Relative oxidation state of magmas inferred from Ce(IV)/Ce(III) in zircon: application to porphyry copper deposits of northern Chile // Contrib.Mineral.Petrol. 2002. Vol. 144. P. 347–364.
11. Mojzsis S.J., Harrison T.M., Pidgeon R.T. Oxygen-isotope evidens from ancient zircons for liquid water at the Earth's surface 4,300 Myr ago // Nature. 2001. Vol. 409. P. 178–181.
12. Добрецов Н.Л. и др. Ранние этапы эволюции геосферы и биосферы / Н.Л. Добрецов, Н.А. Колчанов, В.В. Суслов // Материалы совещания «Фундаментальные проблемы геотектоники». 2007. Т. 1. С. 225–226.
13. Добрецов Н.Л. О ранних стадиях зарождения и эволюции жизни // Информационный Вестник ВОГи. С. 2005. Т. 9, № 1. С. 43–54.
14. Sorokhtin O.G., Chilingar G.V., Sorokhtin N.O. Theory of development of the Earth... // Moskou-Izevsk. 2010. P. 1–751.
15. Бабушкина М.С., Никитина Л.П., Гончаров А.Г., Пономарева Н.И. Вода в структуре минералов мантийных перидотитов: связь с термальными и окислительно-восстановительными условиями в верхней мантии // Записки Российского Минералогического Общества, 2009. Ч. CXXXVIII, №1. С. 3–19.
16. Anders E., Grevesse N. Abandances of the elements: Meteoritic and solar // Geochim. Cosmochim. Acta. 1989. Vol. 53. P. 197–214.
17. Canuto V.M., Levine J.S., Augustsson T.R., Imhoff C.L., Giampapa M.S. The young Sun and the atmosphere and photochemistry of the early Earth // Nature. 1983. Vol. 305. P. 281-286.

Сведения об авторе

Балашов Юрий Андреевич – д.г.-м.н, главный научный сотрудник, профессор; e-mail: balashov@geoksc.apatity.ru

ИССЛЕДОВАНИЯ ГОРНТЕХНИЧЕСКИХ КОНСТРУКЦИЙ КАРЬЕРА ГЕОРАДАРНЫМИ ТЕХНОЛОГИЯМИ

А.И. Калашник¹, С.В. Казачков², В.А. Сохарев², Д.В. Запорожец¹, А.Ю. Дьяков¹

¹ФГБУН Горный институт КНЦ РАН

²ОАО «Ковдорский ГОК»

Аннотация

Для решения задачи обеспечения устойчивости горнотехнических конструкций, играющую важнейшую роль в вопросах эффективности и безопасности разработки месторождений полезных ископаемых, использованы георадарные технологии. Для целей исследования разработана специальная методика проведения полевых и камеральных работ. Это позволило получить новые знания о текущем состоянии и структуре горнотехнических конструкций одного из глубоких рудных карьеров Кольского полуострова. В работе приведены полученные радарограммы с интерпретацией и анализом полученных данных по локализации геологических структур и зон тектонических нарушений. Выявлены особенности состояния массива, заключающиеся в формировании субпараллельных общему контуру карьерной выемки зон мощностью до 4–5 м, 10–20 м и 20–60 м, обусловленные различными параметрами напряженно-деформированного состояния, сплошности (трещиноватости) и влагонасыщенности пород. Выявленные особенности развивают современные представления о состоянии массивов пород в окрестности карьерной выемки и предоставляют возможность для прогноза устойчивости как отдельных уступов, так и участков борта карьера, и обоснования параметров ведения горных работ, обеспечивающих их более высокую безопасность и эффективность.

Ключевые слова:

георадар, технологии, методика, горнотехнические конструкции, структура, состояние, дислокации, устойчивость, безопасность.

Горнотехнические конструкции, прежде всего с точки зрения конструктивных элементов систем разработки, являются важнейшим элементом в вопросах эффективности и безопасности разработки месторождений полезных ископаемых. Поэтому решение задачи обеспечения их устойчивости и выполнения функционального назначения (работоспособности) всегда являлось и является важным и актуальным [1, 2]. При этом существенную, если не определяющую, роль играет знание текущего состояния и структуры горнотехнических конструкций, которая получается на основе данных оперативной оценки и мониторинга их состояния специальными геомеханическими и геофизическими методами: визуальное обследование, акустические исследования, сейсмодеформационные определения, реометрия, метод разгрузки, контрольные скважины, теле- и видеосъемка скважин и др.

Вместе с тем, вышесказанные методы в большинстве своем являются малоинформативными и требующими значительных капитальных затрат. Специальные геологические скважины дают наиболее достоверную информацию, но бурение их весьма затратно, трудоемко и длительно, а для целей выявления и трассирования структурных ослаблений/дислокаций дает точечные результаты и требует сгущения сетки размещения. В этой связи применение неразрушающих, дающих сплошную (профильную) картину, методов исследования является предпочтительным и экономически значительно более выгодным.

Активное развитие георадиолокации и создание современных высокопроизводительных георадарных систем дает достаточные основания полагать, что неразрушающее подповерхностное георадиолокационное зондирование может эффективно использоваться для исследования состояния и структуры горнотехнических систем. В общем виде для целей горного дела георадары могут использоваться для определения структуры массива пород, обнаружения полостей, кварцевых гнезд, интрузий и т.п.; локализации природных и техногенных разрывных нарушений в законтурном массиве пород, геологической слоистости, неоднородности и пр. [3].

В Горном институте Кольского научного центра Российской академии наук развивается инновационное направление георадиолокационных исследований с применением георадарного комплекса Ramac/GPR X3M (производства компании Mala GeoScience, Швеция), оснащенного экранированными антеннами 100, 500 и 800 МГц, что позволяет получать непрерывную информацию

об основных элементах строения участков массивов горных пород на глубину до 30 м с выделением (идентификацией) его аномалий (разрывные нарушения, полости, влагонасыщенные породы и т.п.), и георадарного комплекса «ЛЮЗА-1Н» (производства ООО «ВНИИСМИ», Россия), оснащенного двумя антеннами: передающей и приемной, длиной по 15 м, с частотой 10 МГц, что позволяет производить зондирование горно-геологического массива на глубину до 200 и более метров [4].

Необходимо отметить, что подповерхностное зондирование природно-технических систем с использованием радиолокационных комплексов (в общепринятой терминологии – георадара) основано на использовании классических принципов радиолокации [3]. Антенной георадара излучаются сверхкороткие электромагнитные импульсы (единицы и доли наносекунды), имеющие 1,0-1,5 периода квазигармонического сигнала и достаточно широкий спектр излучения. Центральная часть сигнала определяется типом антенны. Выбор длительности импульса определяется необходимой глубиной зондирования и разрешающей способностью георадара. Для формирования зондирующих импульсов используется возбуждение широкополосной передающей антенны перепадом напряжений (ударный метод возбуждения).

Излучаемый в исследуемую среду импульс отражается от находящихся в ней предметов или неоднородностей среды, имеющих отличную от среды диэлектрическую проницаемость или проводимость, принимается приемной антенной, усиливается в широкополосном усилителе и преобразуется в цифровой код для обработки. В результате обработки полученная информация отображается в виде волнового или плотностного профиля – радараграммы.

Георадарные определения проводятся двумя основными способами: профилирование и зондирование [3]. При профилировании георадар перемещается по линии (трассе) и при каждом измерении передающая и приемная антенны находятся в одной точке линии. При зондировании выбирается одна точка и далее приводится ряд регистраций отраженных сигналов при разносе антенн передатчика и приемника в разные стороны на равные расстояния.

Для количественной интерпретации данных георадиолокации необходимо знать такую характеристику исследуемой среды как диэлектрическая проницаемость пород ϵ [3]. Например, основные породообразующие минералы Ковдорского месторождения полезных ископаемых – апатит, нефелин и пироксенит. Согласно атласу физических свойств минералов и пород [5], относительная диэлектрическая проницаемость этих минералов равняется 6, 7.5 и 13, соответственно. Используя эти данные для расчетов по формулам $v = c/\sqrt{\epsilon}$ и $H = c \cdot t / 2 \cdot \sqrt{\epsilon}$ [3], где c – скорость света в вакууме, получены зависимости скорости прохождения электромагнитной волны v от диэлектрической проницаемости апатита, нефелина и пироксенита (рис. 1а), а также зависимость глубины зондирования H от времени двойного пробега t электромагнитной волны для этих пород (рис. 1б).

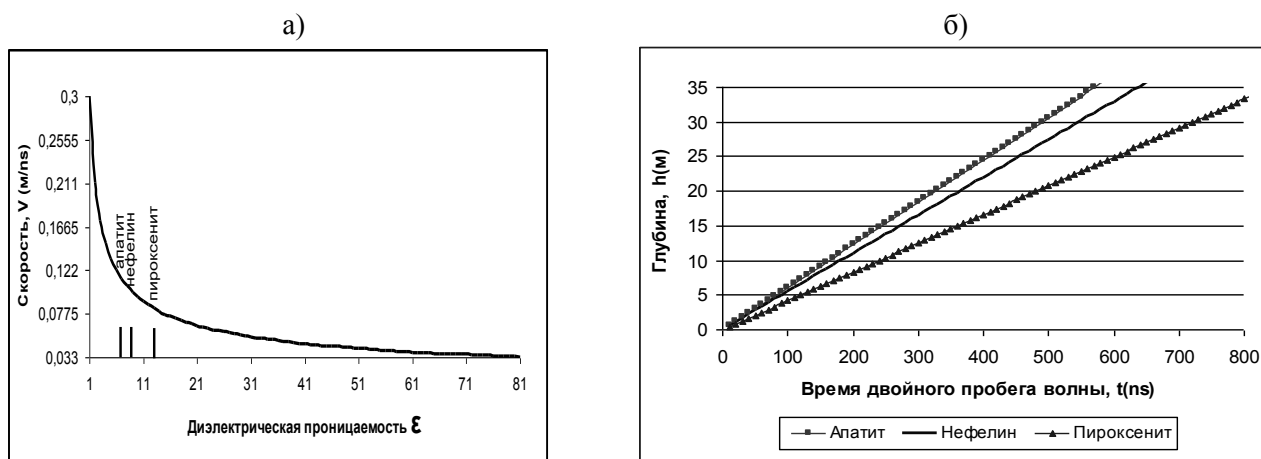


Рис. 1. Зависимости скорости прохождения электромагнитной волны от диэлектрической проницаемости пород (а) и глубины зондирования от времени двойного пробега волны (б)

Экспериментальные георадарные исследования законтурного массива пород карьера «Железный» Ковдорского ГОКа были выполнены с применением специальных технологий на участке возле здания РДКК (горизонты +40, +94, +140, +165, +220 м) и на участке ЦПТ (горизонты +190 и +200 м). Всего было выполнено 78 георадарных профилей общей протяженностью около

11 км, в том числе 67 радарограмм (исследованы участки общей протяженностью 7 км) – для задач приповерхностного зондирования (на глубину до 40 м), и 11 радарограмм (исследованы участки общей протяженностью 4 км) – для задач глубинного зондирования (на глубину до 200 м).

Для оценки законтурной структуры горнотехнических конструкций авторами разработаны методики проведения полевых георадарных исследований, камеральной обработки, анализа и выявления подповерхностных (законтурных) структурных дислокаций (наклонные, субвертикальные, линзовидные) в скальных горнотехнических конструкциях, заключающиеся в применении специальных детерминированных операций и процедур измерений и обработки, что позволяет повысить оперативность определения местоположения и трассирования дислокаций при существенном снижении затрат в сравнении с традиционными методами.

Алгоритм выполнения работ заключался в следующем (рис. 2):

1. Выполняется предварительное зондирование исследуемого участка с визуальным анализом получаемой волновой картины.

2. При выявлении аномалий в волновой картине идентифицируется вид (тип) дислокации с отнесением к одной из трех групп: наклонные, субвертикальные, линзовидные.

3. Выполняется корректировка управляющих параметров (интервал зондирования, время двойного пробега электромагнитной волны и др.), в наибольшей степени соответствующих идентифицированному типу дислокации.

4. Составляется план-схема профилирования с учетом возможности трассирования дислокации.

5. Выполняется георадарное профилирование.

6. В камеральных условиях, в дополнение к стандартным, применяются специализированные процедуры обработки (деконволюция, преобразование Фурье, преобразование Гильберта) и последующий анализ преобразованных сигналов (сжатые импульсы, амплитудно-частотные характеристики, мгновенные амплитуды).

7. Для каждого вида дислокаций (вертикальные, наклонные, локализованные) создаются соответствующие скоростные модели.

8. Выполняется построение радарограмм с картированием выявленных дислокаций.

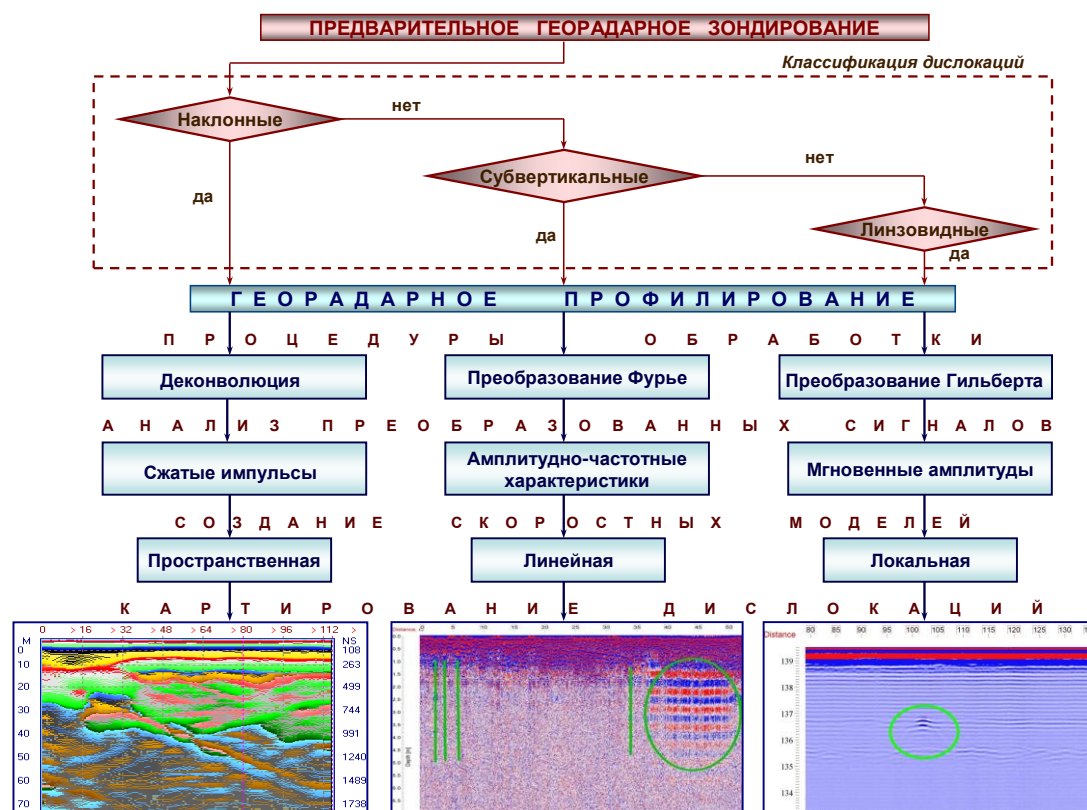


Рис. 2. Блок-схема алгоритма выявления структурных дислокаций в скальных горнотехнических конструкциях

На основе вышеизложенного алгоритма проведены георадарные исследования уступов на участке ЦПТ, построены соответствующие радарограммы, выполнены анализ и интерпретация волновой картины с точки зрения выделения геологических структур и дислокаций. На рис.3 представлена одна из радарограмм, отражающая характерную волновую картину для данного участка. Из рисунка видно, что приповерхностная зона профиля, мощностью до 4-х метров, характеризуется равномерной волновой картиной и соответствует раздробленным/разрушенным, но уплотненным породам. Далее до глубины примерно 20 м выделяется слой, породы в пределах которого имеют другие электрофизические свойства, что может быть обусловлено их разуплотнением вследствие разгрузки от действия первоначальных гравитационно-тектонических напряжений. Ниже 20 м идентифицируются породы с несколько иным напряженно-деформированным состоянием.

На радарограмме также выделяются геологические структуры/зоны и дислокации. В начале профиля на глубине около 8 м прослеживается трещина с углом падения 22° до глубины примерно 17 м. На интервале 250–270 м профиля выделяются две пересекающиеся на глубине 11 м трещины такого же характера.

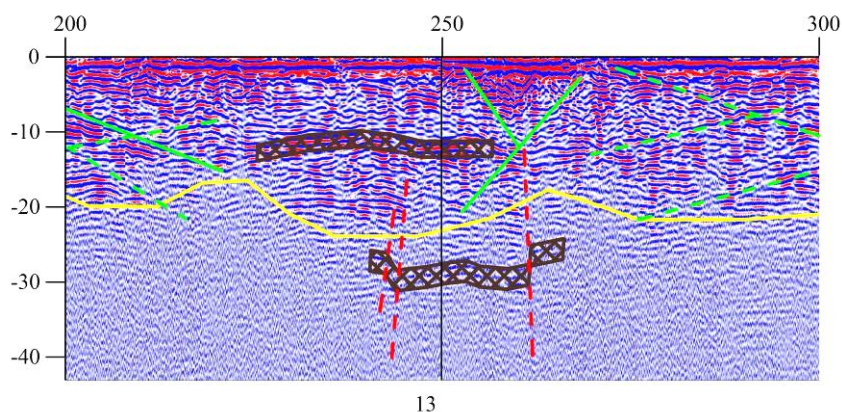


Рис. 3. Фрагмент профиля 1470 горизонт +190 м, участок ЦПТ

На профиле выделяются две структуры (пересекающаяся штриховка), схожие по своим электрофизическим свойствам, которые могут быть приурочены к зонам структурного нарушения. Первая – на интервале 225–255 м, на глубине 13 м, мощностью 2 м, расположенная субгоризонтально в плоскости профиля, и вторая – на интервале 240–265 м, на глубине 31 м, мощностью 3 м, разорванная двумя разломами в левой, и одним разломом в правой ее части, со сдвигом центральной части структуры вниз.

На рисунке 4 приведен фрагмент георадарного профиля по результатам исследований на уступе гор.+40м участка РДКК рудника.

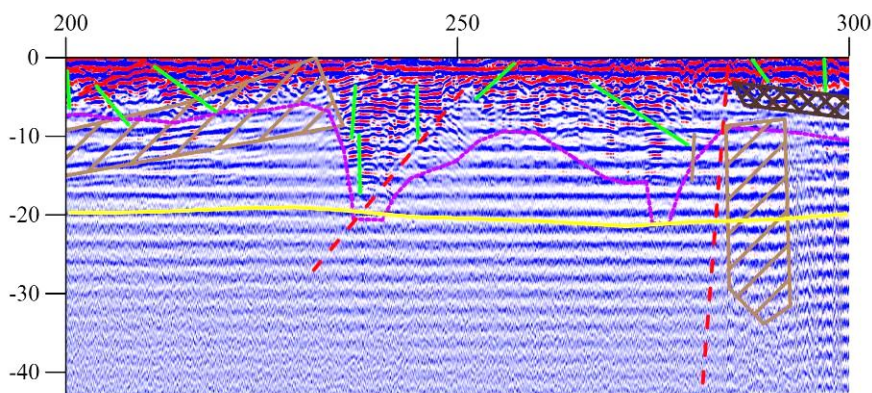


Рис. 4. Фрагмент профиля 1344 горизонт +40 м, участок РДКК

Как видно из рисунка, приповерхностная зона профиля мощностью до 4 м (раздробленный слой пород), характеризуется равномерной волновой картиной с небольшим количеством наклонных трещин. Следующий слой мощностью около 15 м соответствует разуплотненным породам, и далее, с глубины примерно 20 м, породы менее разуплотнены.

На интервале 230–250 м профиля отмечается наличие трех субвертикальных трещин с изменением формы сигнала электромагнитной волны, где предположительно, по косвенным признакам, проходит тектонический разлом.

На профиле также выделяются две геологические структуры: первая на интервале 200–230 м с глубины 15 м и мощностью 7–10 м, выходящая под углом 15° практически на поверхность и вторая субвертикальная структура на интервале от 284 до 291 м с глубины от 9 м до 33 м. При этом вторая структура разделяет в вертикальной плоскости исследованный массив пород на две зоны с различными электрофизическими свойствами. В конце профиля на интервале 285–300 м контрастно выделяется зона, располагаемая на глубине от 3 до 7 м, мощностью 3 м, которая может быть приурочена к структурному нарушению.

Глубинное зондирование выполнялось с использованием георадарного комплекса «ЛОЗА-1Н», с заданной глубиной профилирования около 200 м. На рисунке 5 приведены радарограммы глубинного зондирования с расположением по уступам борта карьера.

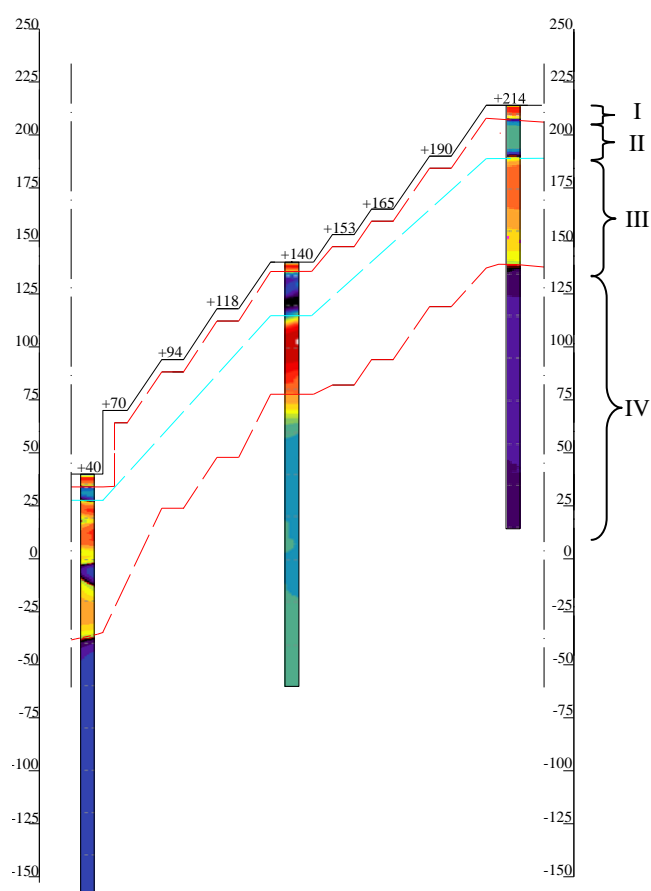


Рис. 5. Радарограммы глубинного профилирования по уступам борта карьера

Анализ и интерпретация радарограмм позволяют сделать следующие выводы. Полученные волновые картины характеризуются своей неоднородностью по глубине зондирования, но вместе с тем имеют идентичный характер на всех трех уступах, который может быть рассмотрен на примере одного из профилей.

На рисунке 5 видно, что по глубине георадарного профиля четко выделяются три слоя различной мощности: 4–5, 5–10, 20–60 и далее основной массив. Приповерхностный слой составляет примерно 4–5 м глубины профиля и представляет собой раздробленные/разрушенные породы. Далее следует слой мощностью от 5 до 10 м, в пределах которого породы, по-видимому, разуплотнены, и имеют более раскрытую, в сравнении с основным массивом, трещиноватость. Нижняя граница этого

слоя достаточно хорошо коррелирует с уровнем подземных/грунтовых вод, определенном по гидрогеологическим скважинам. Следует также отметить, что граница между этим и следующим слоем изменяется в диапазоне 10–15 м глубины профиля.

Следующий (третий сверху) слой, мощностью от 20 до 60 м на различных участках, имеет более сложную градиентную картину, обусловленную, по-видимому, наличием достаточно большого числа геологических структур, неоднородностью напряженно-деформированного состояния пород, а также наличием в этой зоне подземных вод, имеющих в свою очередь градиент порового давления. Нижняя граница достаточно контрастна, изменчива и прослеживается на данном профиле на глубинах от 60 до 90 м. Далее следует, по всей видимости, основной массив горных пород, в котором волновая картина также имеет градиентные изменения, обусловленные литологическими разностями слагающих массив пород, естественными зонами разуплотнения и другими факторами.

Таким образом, георадарными исследованиями выявлены особенности структуры и состояния массива пород для исследуемых горнотехнических конструкций карьера, имеющие подтверждения данными геологического бурения. Эти особенности могут быть учтены при оценке устойчивости как уступов на локальных участках, так и борта карьера в целом. В частности, для целей обоснования параметров новых уступов на горизонте 40 м участка РДКК карьера Железный Ковдорского ГОКа рекомендуется принимать во внимание в первую очередь следующие особенности структуры массива пород:

- зональность волновых характеристик массива пород на глубинах до 4 м, до 20 м и до 40–60 м (может быть обусловлена неравномерным напряженным состоянием пород, неоднородностью пород, распределением внутривидовых (подземных) вод);
- градиентность волновой картины на глубинах свыше 40 и до 200 м (принятая глубина георадарных определений), отражающая изменчивость состояния и структуры массива пород;
- наличие субвертикальных и наклонных структур, прослеживаемых практически на всех уступах участка РДКК.

Корреляция результатов приповерхностного и глубинного георадарного зондирования для выделяемых в массиве пород крупных дислокаций очевидна, но каждый метод в отдельности позволяет выявить те или иные особенности в структуре массива пород. Поэтому методы приповерхностного зондирования предпочтительно применять при исследовании структуры массива пород до глубин 20–30 м и решения соответствующих горнотехнических задач (устойчивость приконтурных пород, обоснование параметров буровзрывных работ, и др.), а методы глубинного зондирования – при исследовании структуры массива пород до глубин 150–200 м и решения соответствующих горнотехнических задач (устойчивость уступов и борта карьера в целом, дифференцированное и детализированное дополнение данных скважинного бурения, задачи гидрогеологии и др.). Вместе с тем как приповерхностное, так и глубинное зондирования достаточно информативны при выявлении зон с различными разностями пород, напряженно-деформированного и водонасыщенного состояния.

Для целей решения задач устойчивости уступов и борта карьера, обосновании параметров буровзрывных работ, задач гидрогеологии и др. целесообразно проведение режимных георадарных исследований в целях выявления сезонного воздействия на состояние массива горных пород, а также тенденций (динамики) изменения состояния и структуры массива вследствие техногенного воздействия (массовые взрывы, подвигание фронта работ, изменении контура борта и т.п.).

Выводы

1. Применение георадарных технологий на уступах горнорудных карьеров позволяет уверенно выявлять и оценивать параметры подповерхностных аномальных структурных зон, включая зоны повышенной трещиноватости пород, а также скрытые тектонические нарушения, дайки, штоки, интрузии и другие геологические структуры, что дает основания для оценки состояния горнотехнических конструкций. Для условий рассматриваемого карьера георадарными определениями локализованы как субвертикальные, так и наклонные тектонические нарушения массива пород с выделением приповерхностной сильнотрещиноватой и раздробленной зоны.

2. Выявленные дислокации в законтурном массиве пород требуют применения специальных технологий при постановке уступов и бортов в конечное положение. В первую очередь это касается принятия решения по генеральному углу наклона борта карьера, конструктивным параметрам уступов, способам и средствам применения методов укрепления откосов, а также применению специальной технологии буровзрывных работ.

3. Разработана методика выявления подповерхностных (законтурных) структурных аномалий в скальных горнотехнических конструкциях, заключающаяся в идентификации аномалий (наклонные, субвертикальные, линзовидные) на основе георадарного зондирования и применении специализированных операций и процедур измерений и обработки, что позволяет повысить оперативность и точность определения дислокаций при существенном снижении затрат в сравнении с традиционными методами. Методика георадарных определений может быть применена на карьерах, отрабатывающих как рудные, так и нерудные месторождения полезных ископаемых.

4. На основе комплексного анализа всех результатов подповерхностного средне (до 40 м) и глубинного (до 200 м) электромагнитного зондирования массива горных пород на участках РДКК и ЦПТ рудника «Железный» Ковдорского ГОКа выявлены особенности состояния массива, заключающиеся в формировании субпараллельных общему контуру карьерной выемки зон мощностью до 4–5 м, 10–20 м и 20–60 м, обусловленных различными параметрами напряженно-деформированного состояния, сплошности (трещиноватости) и влагонасыщенности пород. Выявленные особенности развивают современные представления о состоянии массивов пород в окрестности карьерной выемки и предоставляют возможность для прогноза устойчивости как отдельных уступов, так и участков борта карьера, и обоснования параметров ведения горных работ, обеспечивающих их более высокую безопасность и эффективность.

ЛИТЕРАТУРА

1. Козырев А.А. и др. Обоснование конструкций устойчивых бортов карьеров в массивах скальных тектонически напряженных пород / А.А. Козырев, В.В. Рыбин, А.Л. Билин и др. // Горный журнал. 2010. № 9. С. 24–27. 2. Калашник Н.А. и др. Определение пролетов очистных выработок и размеров целиков / Н.А. Калашник, И.И. Бессонов, А.И. Калашник. Апатиты: Изд. КНЦ РАН, 2000. 85 с. 3. Вопросы подповерхностной радиолокации / А.В. Андриянов, Л.Ю. Астанин, Д.В. Багно и др. Петрозаводск: Изд. «Радиотехника», 2005. 416 с. 4. Калашник А.И. Подповерхностное георадарное зондирование горно-геологических сред Кольского полуострова / А.И. Калашник, Д.В. Запорожец, А.Ю. Дьяков, А.Ю. Демахин // Вестник МГТУ: тр. Мурман. гос. тех. университета, 2009. Т. 12, № 4. С. 576–583. 5. Атлас физических свойств минералов и пород Хибинских месторождений / И.А. Турчанинов, М.П. Воларович, А.Т. Бондаренко и др. Л.: Наука, 1975. 71 с.

Сведения об авторах

Калашник Анатолий Ильич – к.т.н., зав. лабораторией; e-mail: kalashnik@goi.kolasc.net.ru

Казачков Сергей Васильевич – главный горняк Ковдорского ГОКа

Сохарев Виктор Александрович – главный геолог Ковдорского ГОКа

Запорожец Дмитрий Владимирович – ведущий инженер; e-mail: zaporojec@goi.kolasc.net.ru

Дьяков Андрей Юрьевич – младший научный сотрудник; e-mail: dyakov@goi.kolasc.net.ru

МОДЕЛИ И МЕТОДЫ КООРДИНАЦИИ РЕШЕНИЙ ПО УПРАВЛЕНИЮ РЕГИОНАЛЬНЫМ ПРОМЫШЛЕННО-ПРИРОДНЫМ КОМПЛЕКСОМ

А.Я. Фридман, О.В. Фридман
ИИММ КНЦ РАН

Аннотация

Представлены результаты выполнения НИР по исследованию эффективности функционирования субъектов экономической деятельности региона с учетом их взаимодействий, интересов и ограничений. Цель работы – поддержка принятия объективных компромиссных стратегических решений, позволяющих эффективно использовать имеющиеся ресурсы с целью обеспечения приемлемых результатов для всех (или большинства) заинтересованных лиц.

Ключевые слова:

ситуационный анализ и синтез, концептуальная модель предметной области, координируемость управляемых систем.



1. Проблема моделирования промышленно-природных систем

Управление крупным промышленным предприятием, а тем более объединением предприятий – сложный и противоречивый процесс, в котором результат определяется тем, насколько хорошо в нем учтены и согласованы самые различные факторы, выражающие состояние внешней и внутренней среды, интересы структурных подразделений, групп персонала, собственников и т.п. Принятие управленческих решений является основным элементом системы управления. Под принятием решения понимается

особый процесс деятельности, направленный на выбор наилучшего, с точки зрения определенных критериев, варианта действий. В процессе принятия решений Г. Саймон [1] выделяет три этапа: поиск информации, поиск альтернатив и выбор лучшей альтернативы. Методы, используемые для принятия решения, во многом зависят от наличия и степени достоверности информации, которой должно оперировать «лицо, принимающее решение» (ЛПР).

В экономическом менеджменте известны три методологических подхода: традиционный, системный и ситуационный [2, 3]. Традиционный подход понимает управление как достаточно простое одномерное взаимодействие. Системный подход предполагает восприятие управляемого объекта как целого, состоящего из взаимосвязанных компонентов, обладающих индивидуальными свойствами, но функционирующих в общих интересах. Ситуационный менеджмент исходит из того, что результат управления зависит от текущего состояния объекта управления и принятого управляющего решения, которое выбирается из набора решений, допустимых в текущем состоянии [4, 5]. Указанные подходы известны и достаточно глубоко исследованы в общей теории моделирования.

Прогнозирование и анализ последствий принимаемых решений, как правило, осуществляется на основе моделирования изменения состояния или поведения управляемой системы в результате реализации решения. Наиболее распространены модели, которые можно отнести к одному из трех типов: теоретические, опирающиеся на фундаментальные законы; статистические, использующие данные большого числа наблюдений; имитационные, они реализуются компьютерными программами, вычисляющими значения характеристик и параметров системы по заданным алгоритмам. Использование моделей каждого типа имеет свои ограничения, достоинства и недостатки. В условиях, когда теоретические методы не обеспечивают адекватных решений из-за наличия не учитываемых возмущений в реальных объектах, а практические эксперименты для получения репрезентативных выборок данных либо чрезмерно трудоемки, либо принципиально невозможны, компьютерное (имитационное) моделирование оказывается единственным способом изучения рассматриваемых процессов. Причем, возможности оперативного варьирования как параметров, так и структуры компьютерной модели позволяют осуществлять ее итерационную настройку непосредственно в ходе вычислительного эксперимента (ВЭ).

При моделировании сложного объекта определение того, какие именно компоненты и связи системы важны для решаемой задачи, является функцией экспертов в данной предметной области. Для автоматизации последующей обработки знаний экспертов эти знания должны быть формализованы и представлены в виде, допускающем только однозначную интерпретацию.

Таким образом, задача моделирования природно-промышленных систем (ППС) масштаба региона может быть успешно решена только такими программными средствами, которые обеспечивают широкое применение коллективных экспертных знаний и возможность проверки последствий управленческих решений, принятых на основе таких знаний. Для этого необходимо:

- сопровождение открытой модели предметной области при наличии развитых средств ее верификации;
- поддержка совместного применения различных форм представления знаний об исследуемом объекте и методов их обработки;
- возможность оперативного формирования моделей различных ситуаций, которые могут возникнуть на объекте, и сценариев работы объекта;
- автоматизированная организация вычислительного эксперимента с полученными моделями.

Конечной целью информационной системы поддержки принятия решений является повышение оперативности, надежности и точности принятия решений, особенно в случаях отсутствия или невозможности своевременного созыва экспертного совета по проблеме.

Ситуационное концептуальное моделирование

Одним из вариантов практической реализации методов формализации и автоматизированной обработки знаний является технология концептуального моделирования [6]. Технология базируется на использовании формализованной иерархической концептуальной модели (КМ) предметной области. Экспертам предоставляется инструментальная среда, которая позволяет строить иерархическое описание основных объектов, процессов и взаимосвязей исследуемой системы в терминах предметной области. При этом для каждого элемента такого описания синтезируется соответствующий элемент формального представления концептуальной модели и задается определенный набор атрибутов.

Формализация КМ обеспечивает возможность автоматизации последующей работы с моделью – от реализации процедур анализа полноты и непротиворечивости коллективных знаний, представленных экспертами, до проектирования и формирования исполнительской программной среды моделирования. Декларативный характер КМ, интегрирующей знания экспертов в различных областях деятельности, позволяет использовать для обработки этих знаний различные методы моделирования: аналитические, статистические, логические и имитационные. В системы моделирования могут быть достаточно просто интегрированы уже существующие и хорошо зарекомендовавшие себя решения. Выбор конкретного метода и средств моделирования зависит от глубины, полноты и природы представленных в концептуальной модели знаний.

В результате проведенных исследований разработана достаточно универсальная информационная технология и реализующая ее система ситуационного моделирования (ССМ) [7]. Кроме применяемого для моделирования ситуационного подхода, разработка обладает следующим рядом отличительных особенностей:

- мощные средства верификации модели на всех этапах моделирования;
- модульная структура обработки данных, позволяющая пользователю встраивать в систему произвольные источники данных и свои алгоритмы обработки этих данных;
- версия подсистема хранения данных вычислительного эксперимента, позволяющая сохранить динамический слепок работы модели в той или иной ситуации;
- гибкая система настройки алгоритмов моделирования;
- четкая система локализации и реагирования на исключительные ситуации, возникающие в процессе создания и использования модели.

В системе ситуационного моделирования (ССМ) [7] изучаемая динамическая система должна быть представлена в виде иерархически упорядоченного множества объектов (составных частей). Эта иерархия отражает организационные взаимоотношения объектов. Критерий качества работы каждого объекта имеет вид (1), где $s=2$.

$$\Phi^{(s)} ::= \left(\frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \left(\frac{a_i - a_{i0}}{\Delta a_i} \right)^s \right)^{1/s} ::= \left(\frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \delta a_i^s \right)^{1/s}, \quad (1)$$

где: s – четное натуральное число;

a_i – ресурсы из списка выходов данного элемента модели;

a_{i0} и $\Delta a_i > 0$ – настроечные параметры, отражающие требования ЛПР к номинальному значению a_i и допустимому отклонению Δa_i от этого значения соответственно;

$$\delta a_i ::= \frac{a_i - a_{i0}}{\Delta a_i} \text{ – относительное отклонение фактического значения ресурса } a_i \text{ от его}$$

номинального значения a_{i0} .

Если считать a_i скалярными критериями качества работы элемента модели, номинальные значения которых определяются величинами a_{i0} , то (1) представляет собой обобщенный критерий с коэффициентами важности, обратно пропорциональными допустимым отклонениям скалярных критериев, что не лишено здравого смысла. Его значение равно единице в том случае, если значения всех его аргументов находятся на грани допусков:

$$\Phi^{(s)} = 1, \text{ если } |a_i - a_{i0}| = \Delta a_i, \quad i = \overline{1, m}, \quad (2)$$

и не превосходит единицы, если все аргументы находятся в пределах допусков.

Перечисленные свойства обеспечивают естественную нормировку сигналов и облегчают поиск элементов ППС, чьи характеристики существенно отличаются от желаемых. Удельная величина изменения критерия (1) при изменении одного из его аргументов, задаваемая соотношением:

$$\delta \Phi_i^{(s)} ::= \frac{\partial \Phi_i^{(s)} / \partial a_i}{\Delta a_i} = m^{s-1} (\Phi^{(s)})^{s-1} \delta a_i^{s-1}, \quad (3)$$

характеризует относительную чувствительность критерия качества (4) к изменению этого аргумента. В предположении о равной важности всех ресурсов для достижения цели функционирования элемента ППС удельная величина обобщенных затрат на каждый из аргументов критерия (1) оценивается формулой:

$$\eta_i ::= \frac{1}{m} \delta \Phi_i^{(s)}. \quad (4)$$

Далее рассматривается самый простой из критериев вида (1) – квадратичный критерий $\Phi^{(2)}$. Для него из (1)–(3) следует, что при нахождении аргумента a_i в допустимых пределах величина η_i не превосходит единицы. Эту величину и предлагается использовать в качестве индикатора удельных собственных затрат некоторого элемента ППС на выработку того или иного ресурса при сравнительном анализе различных структур реализации той или иной полной ситуации. Если этот элемент потребляет какие-либо (материальные) ресурсы от других элементов ППС, то для анализа общих затрат на получение ресурса к собственным затратам добавляются затраты на получение входных ресурсов. Тогда формула (4) примет вид:

$$\eta_i ::= \Phi^{(2)} \delta a_i + \frac{1}{m} \sum_{j=1}^n \eta_j, \quad (5)$$

где: n – количество (длина списка) входных ресурсов данного элемента модели;

η_j – рассчитанные аналогично (4) или (5) удельные затраты на получение входных ресурсов объекта, на котором находится ЛПР.

Дополнительный учет предпочтений ЛПР можно осуществить, включая в алгоритмы классификации некоторые экспертные сравнения важности элементов модели между собой. В частности, удобно проводить сопоставление вариантов по аналогии с методом анализа иерархий Т. Саати [8], трактуя весовые функции объектов как их относительные приоритеты. Тогда формула (5) принимает вид:

$$\eta_{ik} ::= \gamma_{ik} \left(\Phi^{(2)} \delta a_i + \frac{1}{m} \sum_{j=1}^n \eta_j \right), \quad (6)$$

где масштаб γ_{ik} для i -го ресурса при k -той альтернативе его реализации вычисляется по формуле (7) (μ_k – относительные приоритеты альтернатив):

$$\gamma_{ik} = \frac{\min_k(\mu_k)}{\mu_k}, \quad \sum_k \mu_k ::= 1. \quad (7)$$

По мнению авторов, критерий (1) обладает двумя следующими преимуществами, существенными для поставленной задачи:

- в явном виде задает требования к выходным характеристикам любого элемента SoS или всей системы систем;
- позволяет легко сконструировать инварианты, описывающие процессы агрегирования обобщенных затрат от нижестоящих элементов к вышестоящим.

2. Классификация ситуаций в ССМ

Основное назначение критерия (1) в ССМ – сопоставление текущих ситуаций, сложившихся на объекте моделирования, по степени их соответствия пожеланиям ЛПП. Принцип классификации ситуаций в ССМ дается следующими определениями.

Определение 1. Две ситуации для одного и того же ЛПП относятся к одному классу ситуаций, если для них обеих минимальна величина удельных затрат (4) (или (5), (6), если эта вершина потребляет ресурсы от других элементов ППС) для одного и того же выходного ресурса a_i данной вершины графа ППС (назовем этот критерий доминирующим по сравнению с другими критериями). В пределах одного класса ситуаций из двух ситуаций более предпочтительной является та достаточная ситуация, для которой величина удельных затрат меньше.

Определение 2. Оптимальной ситуацией из заданного класса является достаточная ситуация с минимальным значением удельных затрат.

Таким образом, при решении задачи классификации ситуаций в ППС обобщенный критерий качества используется лишь опосредованно: согласно формулам (3), (5) он является масштабным множителем для всех собственных затрат элемента ППС по отношению к затратам на получение его входных ресурсов.

Поскольку введенные таким образом ситуации по определению не содержат избыточности, то описанный выше метод вычисления обобщенных затрат обеспечивает однозначный расчет собственных и абсолютных затрат на получение всех ресурсов фрагмента и классификацию достаточных ситуаций по признаку доминирования одного из скалярных критериев в затратах на выходе данного элемента ППС. Более того, условия (2) существенно упрощают поиск причины выхода параметров функционирования модели из допуска: для этого достаточно определить объект, порождающий значительное превышение обобщенных затрат над единицей, в его работе и кроется источник недопустимого повышения затрат.

В ходе исследований модели ССМ выяснилось, что критерий (1) пригоден и для решения других задач моделирования ППС, в частности, задачи координации взаимодействий нескольких ППС в рамках регионального промышленно-природного комплекса (ППК) [3, 7, 9–13].

Координация и специализация в системах с управлением

В соответствии с основными принципами системного подхода [14, 15], для управления любой сложной системой недостаточно описывать ее поведение в рамках модели «вход-выход» (как принято, например, в моделях системной динамики [16]). Модели «вход-выход» дают возможность сделать полезные выводы об изменениях во времени, происходящих в системе за время ее существования. Однако прогностические возможности такого подхода ограничены в связи со структурными различиями между моделью «вход-выход» и самой системой. Это замечание сохраняет силу, даже если ввести взаимные обратные связи и представить организацию как одноуровневую, хотя и многопараметрическую, систему управления с обратной связью, как это обычно делается в системной динамике. Если бы основная цель исследования заключалась в том, чтобы объяснить развитие системы и, может быть, предсказать ее эволюцию в ближайшем будущем, то при наличии ряда ограничений модель «вход-выход» могла бы оказаться адекватной. Однако для эффективного управления необходимы знания о том, как воздействовать на систему изнутри, чтобы улучшить ее функционирование. Для этих целей модель, построенная по принципу «вход-выход», не пригодна.

Приведенные соображения указывают на необходимость многоуровневой структуры модели систем с управлением. Структура эта должна отображать самые важные характеристики системы, а именно: 1) что система состоит из взаимосвязанных подсистем, имеющих право принимать решения; 2) что эти подсистемы образуют иерархию. Поэтому теоретико-системная модель системы с управлением – не что иное, как многоэтапная система (организационная иерархия) [17].

Ключевой проблемой при разработке подобных систем являются вопросы специализации подсистем в рамках свойственных им задач и координирование управления на различных уровнях иерархии. Иными словами, задачи подсистем и параметры их критериев качества должны быть сформированы таким образом, чтобы совместное выполнение задач подсистем позволяло выполнить глобальную задачу всей иерархии (постулат совместимости [17]).

Координирование естественным образом подразделяется на две части: установление операционных правил, предписывающих подсистемам, как они должны действовать, и практическое обеспечение выполнения этих правил в процессе функционирования системы. Первое называют «управлением в большом», а второе – «управлением в малом» [17].

В дальнейшей формализации «управление в большом» соответствует выбору подходящих функций для оценки эффективности (качества) деятельности нижестоящих элементов, или, в более общем смысле, выбору способов координирования. «Управление в малом» соответствует выбору конкретных значений координирующего воздействия.

В теории организаций [14, 17] учитывается, что один из центральных вопросов, возникающих перед организацией, которая вводит у себя специализированные подразделения, – определение степени самостоятельности элементов организации. Элемент самостоятелен в той степени, в какой условия для его функционирования не зависят от того, что происходит в других элементах системы. В дальнейшей формализации роль переменных, отражающих степень самостоятельности элемента или подсистемы, играют взаимодействия между нижестоящими элементами. Проблема координации, таким образом, связана, прежде всего, с расчетом взаимодействий нижестоящих элементов. Решение этой задачи проводится с помощью так называемых принципов координации [17]. Они определяют стратегии, которыми координатор может воспользоваться, чтобы компенсировать то обстоятельство, что отдельные элементы действуют так, как если бы они были «самостоятельны». Принципы и связанные с ними методы координирования порождают целое семейство нормативных решений для задачи управления всей системой. Они не только указывают, как координировать специализированные элементы, но, предлагая новые методы координации, позволяют выявлять и новые виды специализации.

В общем случае, при построении принципов координации (в частности, принципа оценки взаимодействий) речь идет о нахождении удовлетворительных решений на уровне нижестоящих решающих элементов, что вполне согласуется с современными методами децентрализации управления.

В частности, из (1) следует, что в ССМ для координации применяется способ прогнозирования взаимодействий [17]. Глобальная задача ставится путем выбора доминирующего скалярного критерия, который должен вносить минимальный вклад в обобщенный критерий (1). Пусть для определенности это будет $a_{10}^{(0)}$.

Рассмотрим возможности применения критерия (1) для координации локальных управлений при управлении иерархическими и сетевыми объектами.

3. Исследование иерархической системы управления

Как и в [17], будем без потери общности рассматривать двухуровневую систему (рис. 1), в которой объект верхнего уровня (координатор) O_0 , имеющий обобщенный критерий качества Φ_0 типа (1), передает подчиненным ему объектам (подобъектам) $O_1 - O_n$, имеющим аналогичные критерии качества, настроечные параметры и получает в качестве сигналов обратной связи относительные отклонения фактических значений локальных критериев качества подобъектов от их номинальных значений. Подобъекты взаимодействуют через управляемую систему и не имеют информации о состоянии других подобъектов, то есть вся система локально организована.

Предлагаемый принцип координации такой системы с точки зрения системного анализа соответствует внешнему (объективному) подходу к оценке эффективности функционирования подсистем в составе метасистемы. Этот принцип состоит в следующем: задачи подобъектов будут скоординированы относительно задачи координатора, если знак градиента обобщенного критерия координатора по его текущему доминирующему скалярному критерию совпадает со знаками градиентов этого обобщенного критерия по всем текущим значениям скалярных критериев подобъектов [9, 10].

Из (1) имеем:

$$\frac{\partial \Phi_k}{\partial a_i^{(k)}} = \frac{2}{m_k} \frac{a_i^{(k)} - a_{i0}^{(k)}}{\Delta^2 a_i^{(k)}}, \quad (8)$$

откуда следует, что знак производной можно менять нужным образом, выбирая величину $a_{i0}^{(k)}$ больше или меньше $a_i^{(k)}$. С другой стороны, если считать, что действия всех подобъектов равно важны для достижения цели координатора (возможность обобщения очевидна), то:

$$\frac{\partial \Phi_0}{\partial a_i^{(k)}} = \sum_{j=1}^{m_0} \frac{\partial \Phi_0}{\partial a_j^{(0)}} \frac{\partial a_j^{(0)}}{\partial a_i^{(0)}} = \frac{2}{m_0} \sum_{j=1}^{m_0} \mu_j \frac{\partial a_j^{(0)}}{\partial a_i^{(0)}} \approx \frac{2}{nm_0} \sum_{j=1}^{m_0} \mu_j \frac{Inc[a_j^{(0)}]}{Inc[a_i^{(0)}]}, \quad (9)$$

где обозначено: $\mu_j = \frac{a_j^{(0)} - a_{j0}^{(0)}}{\Delta^2 a_j^{(0)}}$, а $Inc[*]$ есть приращение (инкремент) параметра в скобках за предыдущий временной шаг.

Система будет координируема, если координатор выберет все $a_{i0}^{(k)}$ таким образом, чтобы знаки величин (8) (для $k=0$ и $i=1$) и (3) (для всех k от 1 до n и всех i для каждого подобъекта) совпадали.

Полученные достаточные условия координируемости аналогичны идеям обеспечения устойчивости локального управления в коллективах автоматов [18], где требуется положительность частных производных обобщенного критерия типа (1) по входным параметрам соответствующего элемента коллектива.

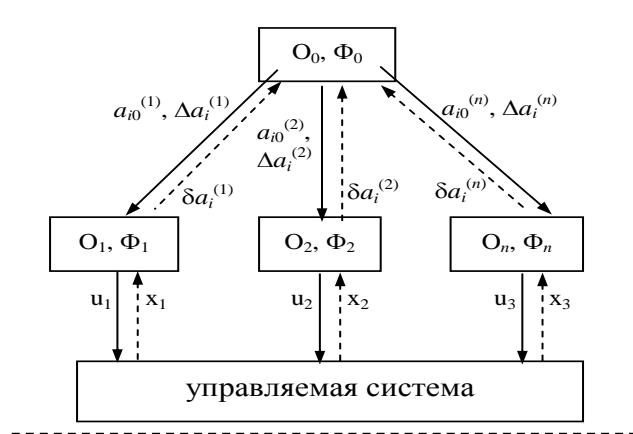


Рис. 1. Двухуровневая многоцелевая система

С целью подтверждения теоретических результатов на математической модели исследовалась устойчивость характеристик децентрализованного управления на основе градиентов локальных критериев качества и возможности повышения (оптимизации) быстродействия децентрализованной системы.

Моделирование иерархической системы проводилось средствами VisSim [19] на примере управляемого объекта, представляющего собой три последовательно соединенных линейных звена с передаточной функцией второго порядка, одним управляющим входом и одним выходом каждый. Рассматривалась двухуровневая система управления (см. рис. 1).

В качестве управляемой системы при моделировании использовалась линейная трехблочная система, схема которой приведена на рисунке 2.

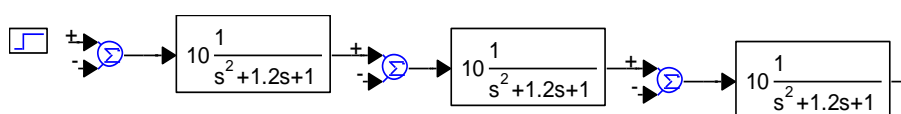


Рис. 2. Схема модели управляемой системы

Были построены три аналогичных друг другу управляющих элемента нижнего уровня, соответствующие элементам второго уровня на рисунке 1. В каждом из них вычисляется градиент обобщенного критерия (8), его значения подаются в качестве управляющего воздействия на вход каждого из трех блоков управляемой системы.

Управляющие элементы нижнего уровня использовали для принятия решений (выработки управляющих воздействий) локальную информацию о состоянии подчиненных им звеньев управляемого объекта, координатор обладал полной информацией о состоянии этого объекта и управляющих элементов нижнего уровня, что соответствует принципам теории иерархических систем [17].

Проведенный модельный эксперимент включал несколько последовательных этапов. Первый этап состоял в исследовании устойчивости системы к малым возмущениям. На втором этапе эксперимента на блоки исследуемой системы подавалось управляющее воздействие, вычисляемое в соответствии с (8). Аналогично первому этапу исследований выявлялись диапазоны устойчивости системы при подключении управления на отдельный блок, попарно и на все три блока. Значения коэффициентов усиления при вводе управлений подбирались по значению установившейся погрешности реальной траектории относительно идеальной, при условии сохранения устойчивости возмущенной системы. На следующем этапе моделирования подключался координатор (верхний уровень на рис. 1) и изменялись значения коэффициентов усиления приращений координирующих сигналов (номинальных значений a_{i0}) для повышения быстродействия децентрализованной системы. Последний этап моделирования состоял в выявлении диапазонов устойчивости системы при наличии управления и координации.

Результаты моделирования иерархической системы управления

Первый этап. В качестве возмущений рассматривались перекрестные связи между отдельными блоками управляемой системы, изменяющие собственные числа матрицы динамики системы. Возмущающий коэффициент K_{ij} обозначает подачу сигнала на вход i -го блока с выхода j -го блока. Таким образом, для трехблочной системы рассматриваются коэффициенты структурных возмущений K_{12} , K_{13} , K_{23} .

В ходе эксперимента были исследованы все возможные сочетания подключений возмущающих воздействий – по одному, попарно, все три одновременно. Эксперимент показал, что наиболее значимое воздействие на устойчивость системы оказывает изменение K_{13} , а наименьшее – изменение K_{12} . Кроме того, были выявлены диапазоны изменений коэффициентов, в пределах которых система оставалась устойчивой с заданной 5%-й точностью.

Второй этап. На блоки исследуемой системы подавалось управляющее воздействие согласно (8). Аналогично первому этапу исследований выявлялись диапазоны устойчивости системы при подключении управления на отдельный блок, попарно и на все три блока. Получено, что наибольший эффект дает подключение всех трех блоков, причем подключение управления существенно расширяет диапазоны устойчивости (табл. 1).

Таблица 1

Диапазоны устойчивости для линейного объекта

Одновременное подключение	K_{12}	K_{13}	K_{23}
Без управления	-0.0001÷0.0001	-0.00001÷0.00001	-0.0001÷0.0001
С управлением	-0.001÷0.001	-0.0001÷0.0001	-0.0005÷0.0005

Далее был осуществлен подбор значений коэффициентов усиления при вводе локальных управлений. Подбор проводился в условиях устойчивости возмущенной системы. Наилучшее быстродействие получено при коэффициенте 0.608 для первого блока и коэффициенте 1 для второго и третьего блоков.

На **третьем этапе** подключались все блоки модели.

Блок координации, который соответствует верхнему блоку на рис. 1, содержит три одинаковых подблока. На вход каждого подблока координатора подается фактическое значение сигнала a_i ,

номинальное значения сигнала a_{i0} и рассчитывается относительное отклонение фактического значения сигнала a_i от его номинального значения $a_{i0} - \delta a_i ::= \frac{a_i - a_{i0}}{\Delta a_i}$.

Далее вычисляется "новое" номинальное значение $a_{i0}' = a_{i0} + \Delta a_{i0}$, где $\Delta a_{i0} = k_i \delta a_i$. Значение коэффициента k_i изначально полагается равным единице. На следующем этапе оно изменялось для повышения быстродействия системы.

Эксперимент показал, что подключение координатора улучшает установившуюся погрешность в несколько раз, если оценивать ее по значению отклонения стабилизировавшихся сигналов друг от друга. На рис. 3 приведены графики, соответствующие состояниям возмущенной системы без управления, с подключенным нижним уровнем управления и подключенным управлением и координацией. Значения возмущающих коэффициентов во всех трех случаях не менялись: $K_{12}=0.002$, $K_{13}=-0.0001$, $K_{23}=-0.002$. Наличие управления вдвое снижает процент расхождения траекторий эталонной и исследуемой систем. Подключение координатора позволяет повысить устойчивость системы к внешним возмущениям еще в два раза.

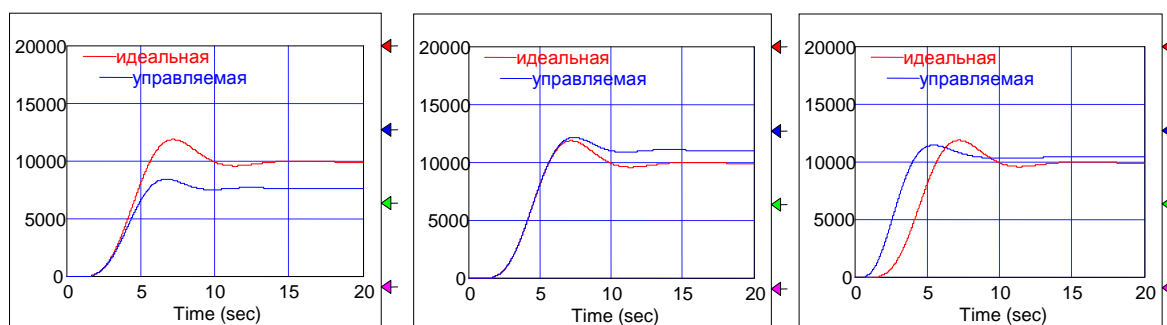


Рис. 3. Влияние управляющих и координирующих воздействий на устойчивость системы:
 а) без управления (установившаяся погрешность 23.1%);
 б) с подключенным нижним уровнем управления (установившаяся погрешность 11.2%);
 в) с управлением и координацией (установившаяся погрешность 4.63%)

Далее решался вопрос повышения быстродействия всей системы.

Оказалось, что различные сочетания значений коэффициентов k_i для разных блоков координатора в существенно различной степени влияют на результат моделирования, в частности, на значение процента сходимости и время сходимости идеальной и реальной кривых. Установившаяся погрешность при подключенном управлении нижнего уровня без координатора – 8.41%. Наилучшее быстродействие достигнуто при $k_1=5$, $k_2=k_3=-8000$; установившаяся погрешность составила 3.67%.

Из графиков на рисунке 3 видно, что при наличии управления и координации время сходимости идеальной и реальной кривых составляет примерно 10 с, тогда как без координации (или неоптимальных значениях коэффициентов k_i) при тех же возмущениях кривые вообще не сходились, или при других значениях возмущений сходились примерно через 20 с. Таким образом, подключение блока координации повышает быстродействие системы приблизительно вдвое.

На последнем, **четвертом этапе** исследований иерархической системы выявлялись диапазоны устойчивости системы при наличии и управления, и координации, аналогично тому, как это производилось на предыдущих этапах. Эксперимент показал, что диапазоны устойчивости системы существенно расширились по сравнению со случаем, когда подключалось только управление (см. табл. 1), и составили:

$$K_{12}=-0.002 \div 0.002, K_{23}=-0.002 \div 0.002, K_{13}=-0.00015 \div 0.00015.$$

Взаимодействие ППС в рамках ППК не удастся описать последовательной схемой типа показанной на рис. 2, поэтому далее предложенный градиентный подход к координации ППС распространяется на более сложные (сетевые) структуры взаимосвязей элементов ППК.

4. Система систем и координация ее подсистем

Поскольку в границах ППК обычно есть несколько ЛПР равного ранга, ППК целесообразно рассматривать как систему систем. В США направление исследований системы систем (SoS – System of Systems) успешно развивается в течение последних 10 лет [20–27], но пока не получило

распространения в России. Основные особенности анализа и конструирования SoS (System of Systems Engineering) [25, 28, 29] состоят в следующем. Согласно принципам системного анализа, свойства SoS не вытекают из свойств ее составных частей и обычно нелинейно зависят от внешних и внутренних параметров. В [21] утверждается, что при исследованиях SoS недостаточно изучать систему в терминах заранее установленных аспектов или частей системы, анализировать эти части или аспекты в отдельности и затем объединять результаты такого анализа в попытке описать всю систему. Необходимо дополнять такие существенные специализированные исследования цельным (холистическим) взглядом на всю систему. Поэтому любая система моделирования SoS должна предоставлять средства выявления предвестников будущих изменений, а также анализа чувствительности с целью поиска наиболее эффективных возможностей управления и оценки надежности результатов моделирования. В общем случае SoS может быть представлена в виде сети [22, 28–31]. Такая структура, как известно, сложна для управления ввиду избыточности и существенно различной реакции на внешние воздействия в различных частях SoS.

Вследствие изложенного, мы предлагаем вначале оценивать степень влияния тех или иных взаимосвязей, а затем принимать решения о координирующих воздействиях. Особенность процедуры "взвешивания" взаимосвязей состоит в использовании иерархической системы критериев, отражающих предпочтения лица, принимающего решения (ЛПР) в виде (5, 6) обобщенных затрат, формируемых экспертным путем.

Обычно каждое ЛПР решает многокритериальную задачу оптимизации, параметризованную настроенными значениями обобщенного критерия, где входными переменными являются некоторые выходные сигналы подчиненного этому ЛПР объекта (например, [32]). Предположим без потери общности, что все настроенные параметры обобщенных критериев известны всем ЛПР, что соответствует задаче координации путем прогнозирования взаимодействий [17]. Тогда каждое ЛПР может получить интегральную (холистическую – holarchical [23]) оценку состояния подчиненной ему вершины по каждой характеристике с помощью критерия (1).

Мы выяснили, что критерий (1) может быть использован на любой вершине SoS, чтобы снабдить всех ЛПР взаимосогласованной информацией.

Как показано ниже, этот критерий можно использовать для мониторинга, анализа и прогноза состояния любой вершины или всей SoS, а также для поиска наиболее эффективных путей коррекции их поведения.

Способ поиска такой вершины SoS описан далее [11, 12].

5. Принятие решений по координации SoS

Основные шаги поискового алгоритма можно представить следующим образом:

1. Определить некоторый проблемный компонент SoS из тех, у которых значение критерия (1) существенно превосходит единицу, пометить его как текущий проблемный компонент.
2. Если текущий проблемный компонент не потребляет никаких (материальных) ресурсов от других компонентов SoS, то перейти к шагу 5.
3. Если первое слагаемое затрат (5) или (6) превосходит второе слагаемое (собственные затраты больше затрат на получение входных ресурсов), то перейти к шагу 5.
4. Найти компонент SoS, вносящий максимальный вклад во второе слагаемое затрат (5) или (6), пометить его как текущий проблемный компонент и вернуться к шагу 3.
5. Если найденный листовым проблемный компонент потребляет какие-либо (материальные) ресурсы из окружающей среды и второе слагаемое в его затратах превышает первое (собственные затраты меньше затрат на получение входных ресурсов), то проблема может быть решена только на мета-уровне. Остановка алгоритма.
6. Классифицировать ситуацию на текущем проблемном компоненте согласно Определению 1.
7. Решить, годится ли текущий класс ситуаций для дальнейшего функционирования данного компонента, либо выбрать новый доминирующий критерий и соответствующий класс ситуаций.
8. Изменить настроенные параметры критерия (1) и структуру связей текущего проблемного компонента согласно оптимальной (по Определению 2) ситуации из выбранного класса.

В следующем разделе приведены результаты апробации этого алгоритма.

6. Исследование децентрализованной системы управления сетью объектов

По методике, описанной для иерархической управляемой системы, были проведены исследования децентрализованной системы управления сетью объектов. Ввиду усложнения модели

принято решение об упрощении вида передаточных функций по сравнению с иерархической системой.

На рисунке 4 приведена схема эталонной сетевой структуры, на вход которой подается ступенчатый сигнал с амплитудой +10.

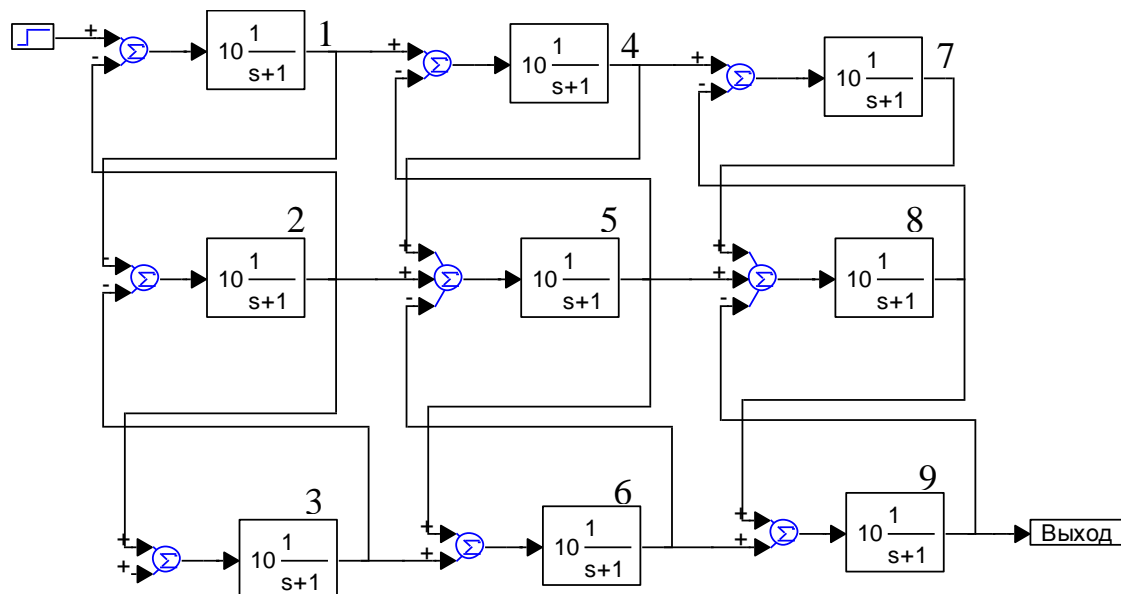


Рис. 4. Схема эталонной сетевой структуры

Сначала была проанализирована устойчивость исследуемой системы к внешним возмущениям. Для этого на каждый узел сети поочередно подавался сигнал, аналогичный входному, но с амплитудой +1, что соответствует 10% -му внешнему возмущению.

Далее определялись диапазоны устойчивости системы к малым внутренним возмущениям, реализованным путем добавления обратных связей между выходами и входами узлов сети (в направлении от общего выхода системы к общему входу). Диапазон устойчивости определялся по той же методике, что и для иерархической системы (отклонение по амплитуде $\pm 5\%$). Проанализированы все возможные сочетания связей "выход – вход".

Затем определялись диапазоны устойчивости системы при поочередном подключении управления на каждый узел сети. Управления задавались пропорционально градиенту обобщенного критерия (8), его значения подавались в качестве управления по одному на вход каждого из возбуждаемых узлов сети.

Исследовалось поведение системы при одновременном подключении всех управляющих элементов, возбуждение подавалось только на один узел сети. Определены диапазоны устойчивости для такой ситуации.

Следующим шагом эксперимента было подключение координатора, построенного аналогично иерархической системе. Исследовано подключение блока координации только на возбуждаемый узел и полное подключение координатора (на все узлы сети) с одиночным подключением управления (на возбуждаемый узел сети) и полным подключением управления (на все узлы сети).

Результаты моделирования сетевой системы управления

На внешнее возмущение реагировали только три первых блока, причем оно компенсировалось уже при одиночном подключении управляющего элемента на возбуждаемый узел сети. В целом, сеть продемонстрировала устойчивость к воздействиям такого рода.

По величине диапазонов устойчивости обратные связи между узлами сети можно условно разбить на "сильные" и "слабые"; оказалось, что "сильные" связи замыкаются в основном на три первых узла сети. В таблице 2 показаны результаты исследований устойчивости сети к малым структурным возмущениям.

При поочередном подключении управления на каждый узел сети диапазоны устойчивости системы для "сильных" связей расширились в среднем на порядок, а для "слабых" связей практически

не менялись, но реакция "слабых" связей появлялась не только на возмущаемом узле сети, но и на узлах 4 и 8, независимо от того, на какой узел подавалось возмущение. Подключение одиночного управления на возбуждаемый узел сети достаточно эффективно компенсирует небольшие структурные возмущения.

Таблица 2

Диапазоны устойчивости для сетевого объекта

«Сильные» связи		«Слабые» связи	
Выход-вход	Диапазон устойчивости	Выход-вход	Диапазон устойчивости
2–1	0.0003 ÷ -0.001	5–4	0.4 ÷ -0.25
3–1	0.000001 ÷ -0.000001	6–4	0.5 ÷ -0.5
3–2	0.00025 ÷ -0.00025	6–5	0.1 ÷ -0.1
4–1, 4–3, 6–3, 7–2, 9–2	0.000005 ÷ -0.000005	7–4	0.01 ÷ -0.05
4–2	0.00005 ÷ -0.00005	7–5	0.009 ÷ -0.009
5–1, 5–3	0.000025 ÷ -0.00002	8–2	0.002 ÷ -0.002
5–2	0.0001 ÷ -0.0001	8–4	0.005 ÷ -0.06
6–1	0.000001 ÷ -0.000005	8–5	0.07 ÷ -0.1
6–2	0.00005 ÷ -0.00004	8–6	0.064 ÷ -0.001
7–1, 7–3, 9–1, 9–3	0.0000005 ÷ -0.0000005	8–7	0.001 ÷ -0.001
7–6	0.00001 ÷ -0.00001	9–4	0.05 ÷ -0.05
8–1	0.0002 ÷ -0.0002	9–5	0.001 ÷ -0.02
8–3	0.0002 ÷ -0.0002	9–7	0.01 ÷ -0.009
9–6	0.0001 ÷ -0.0005	9–8	0.1 ÷ -0.15

При моделировании одновременного подключения всех управляющих элементов диапазоны устойчивости для "сильных" связей в среднем не изменились, для связей, замкнутых на первый узел сети, диапазоны устойчивости незначительно расширились, а для других – уменьшились в 2–4 раза, по сравнению с одиночным подключением управления. Диапазоны устойчивости "слабых" связей по-прежнему не менялись, но к узлам сети, всегда проявляющим реакцию на возмущение, кроме четвертого и восьмого узлов, добавились пятый и седьмой. Таким образом, локальные управления при отсутствии координации "мешали" друг другу.

На рисунке 5 приведены графики эталонной и исследуемой кривых для "сильной" связи 3–2 при подаче возмущения $K_{32} = 0.001$ без управления, при подключении одиночного управления и полном подключении управления.

Моделирование показало, что подключение всех управляющих элементов при одиночной подаче возмущения в целом компенсирует малое структурное возмущение приблизительно в той же степени, как и одиночное подключение соответствующего возмущаемому узлу управляющего элемента.

При одиночном подключении блока координации на возбуждаемый узел с одиночным подключением управления диапазоны устойчивости «слабых» связей не изменялись; как и в предыдущем случае, реакцию на воздействие проявляли четвертый, пятый, седьмой и восьмой узлы сети (помимо возмущаемого), а для «сильных» связей диапазон устойчивости резко сузился, система становилась неустойчивой при подаче даже малого возмущения. На рисунке 6 а) приведены графики

кривых для той же связи 3–2, явно видно увеличение расхождения кривых по сравнению с предыдущим случаем, что говорит о сужении диапазона сходимости.

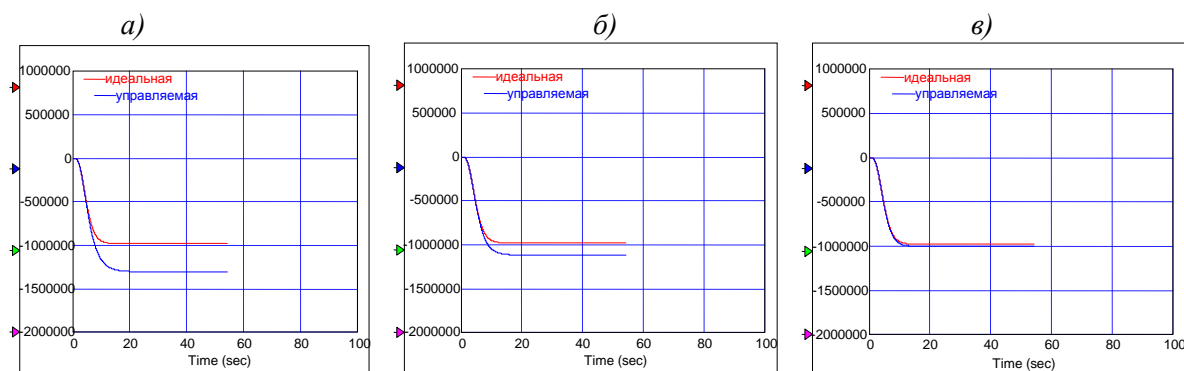


Рис. 5. Эталонная и исследуемая кривые для "сильной" связи 3–2:
 а) без управления (установившаяся погрешность 33.3%),
 б) при подключении одиночного управления (установившаяся погрешность 14.5%),
 в) полное подключение управления (установившаяся погрешность 2.14%)

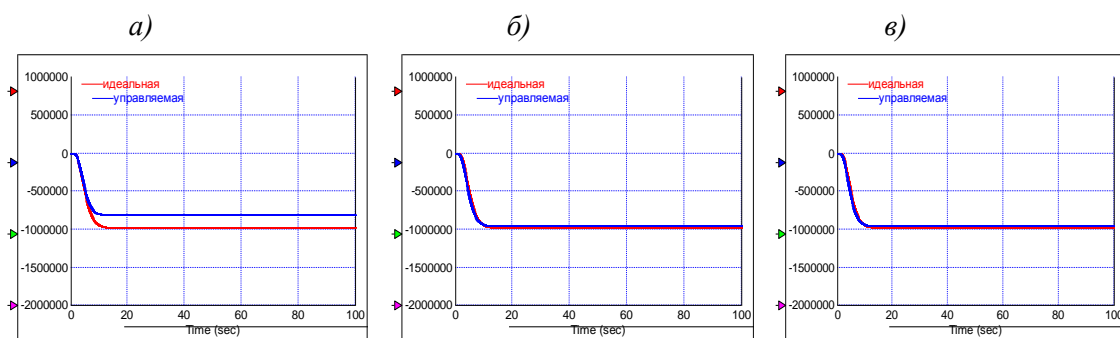


Рис. 6. Эталонная и исследуемая кривые для "сильной" связи 3–2:
 а) одиночное управление и одиночная координацией (установившаяся погрешность 16.67%);
 б) полное управление и одиночная координация;
 в) одиночное управление и полная координация (установившаяся погрешность для случаев б) и в) 1.95%)

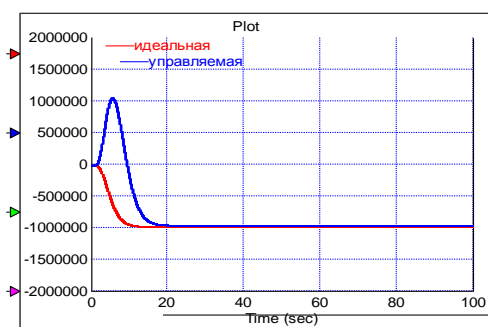


Рис. 7. Эталонная и исследуемая кривые для "сильной" связи 3–2, полное управление и полная координация (установившаяся погрешность – 0.97%)

системы на возмущение стала слабее. На рисунке 7 приведены графики, соответствующие состояниям возмущенной системы подключенным управлением и координацией для "сильной" связи 3–2 при подаче возмущения $K_{32} = 0.001$.

При полном подключении управления и одиночном подключении координатора, как и при подключении координатора на все узлы сети и одиночном подключении управления, диапазон устойчивости "слабых" связей не менялся, для "сильных" связей, замкнутых на первый узел, несколько расширился, для остальных – сузился. На рисунке 6 б) и в) приведены графики для этих условий моделирования.

Полное подключение управления и координации (на все узлы сети) для "слабых" связей практически ничего не изменило с точки зрения величины диапазона устойчивости, реакцию на возмущение помимо возмущаемого узла проявлял только восьмой узел (в предыдущих экспериментах такую реакцию проявляли еще четвертый, пятый и седьмой узлы). Для "сильных" связей диапазон устойчивости расширился, в целом реакция

Таким образом, полное подключение управления и координации дает наилучший эффект при компенсации малых структурных возмущений.

Заключение

Результаты моделирования показали, что при пошаговом изменении управляющих воздействий на отдельные линейные звенья с использованием в качестве "стабилизирующего" значения обобщенного критерия затрат, вычисляемого для каждой подсистемы на каждом шаге моделирования, за заданное время подсистемы и система в целом стремятся к "эталонным" значениям (красные кривые на графиках) выходных переменных.

Экспериментально подтверждены выводы, сделанные в работах [3, 9, 10, 14, 15, 17], об устойчивости результатов децентрализованного управления на основе градиентов локальных критериев качества.

Для исследованной двухуровневой системы управления линейным объектом подключение нижнего уровня управления в среднем на порядок расширяет диапазоны устойчивости системы к внешним возмущениям и примерно вдвое уменьшает процент расхождения идеальной и реальной траекторий системы. Координация иерархической системы позволяет:

- повысить устойчивость системы к внешним возмущениям и увеличить быстродействие системы приблизительно вдвое;
- расширить диапазон устойчивости системы к структурным возмущениям в полтора-два раза.

Для исследованной двухуровневой системы управления сетевым объектом выявлено разделение внутренних обратных связей на "сильные" (возмущение, подаваемое на эти связи, существенно влияет на поведение системы в целом) и "слабые". Поочередное подключение локальных управлений в среднем на порядок расширяет диапазоны устойчивости соответствующих "сильных" связей к внешним возмущениям и практически не влияет на "слабые" связи. Локальное одиночное управление тем узлом сети, на который подано возмущение, достаточно эффективно компенсирует небольшие структурные возмущения и более чем вдвое уменьшает процент расхождения идеальной и реальной траекторий системы в целом. Полное подключение нижнего уровня управления ведет к резкому сужению диапазонов устойчивости "сильных" связей (в 2–4 раза) и появлению реакции на невозбуждаемых узлах сети. Следовательно, некоординируемые локальные управления "мешают" друг другу, что и можно было предположить с учетом особенностей сетевых структур.

Использование предложенного градиентного метода координации для сетевого объекта позволяет:

- повысить устойчивость системы к внешним возмущениям и свести к минимуму взаимное влияние узлов сети;
- расширить диапазон устойчивости системы к структурным возмущениям более чем в два раза (по сравнению с локальным управлением) [11, 12].

Направления дальнейших исследований:

- изучение реакции исследованных иерархической и сетевой систем на внешние возмущения в различных точках воздействия;
- поиск конструктивного алгоритма выбора оптимальных значений коэффициентов усиления k_i в цепях ввода координирующих сигналов (подбор производился вручную);
- исследование возможностей повышения быстродействия децентрализованных систем управления сетевыми структурами;
- анализ возможностей применения разработанной методики для исследования интеллектуальных динамических систем [3, 9, 33].

ЛИТЕРАТУРА

1. Саймон Г. Науки об искусственном. М.: Мир, 1972.
2. Соколов Б.В. Методы и алгоритмы многокритериального оценивания эффективности совместной реструктуризации информационной и бизнес-систем / Б.В. Соколов, В.А. Зеленцов, А.Я. Фридман, Д.А. Иванов, В.Я. Асанович // Моделирование и анализ безопасности и риска в сложных системах: труды Международной научной школы МА БР-2010 (Санкт-Петербург, 6–10 июля, 2010 г.). – СПб.: ГУАП, 2010. С. 350–353.
3. Фридман А.Я. Прямое планирование в динамических интеллектуальных системах // Вторая Междунар. конф. «Системный анализ и информационные технологии» САИТ-2007 (10–14 сентября 2007г., г.Обнинск, Россия): тр. конф.: в 2 т. М.: Изд-во ЛКИ, 2007. Т. 1. С. 73–75.
4. Деруссо П. и др. Пространство состояний в теории управления / П. Деруссо, Р. Рой, М. Клоуз. М.: Наука, 1970.
5. Постелов Д.А. Ситуационное управление: теория и практика. М.: Наука, 1986.
6. Синтез моделей вычислительного эксперимента / А.В. Бржезовский, В.И. Жаков, В.А. Путилов, В.В. Фильчаков. СПб.: Наука, 1992.
7. Фридман А.Я. и др. Ситуационное моделирование природно-технических комплексов / А.Я. Фридман, О.В. Фридман, А.А. Зуенко. СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2010.
8. Саати Т. Принятие решений. Метод анализа иерархий. М.: Радио и связь, 1993.
9. Фридман А.Я. Достаточные условия координируемости локально организованной иерархии динамических систем / Искусственный интеллект. Интеллектуальные системы (ИИ-2009) //

Материалы X Международной научно-технической конференции. Таганрог: Изд-во ТТИ ЮФУ, 2009. С. 115–117.

10. Фридман А.Я. Условия координируемости двухуровневого коллектива динамических интеллектуальных систем // Одиннадцатая национальная конференция по искусственному интеллекту с международным участием КИИ-2008 (28 сентября – 3 октября 2008 г., Дубна, Россия): тр. конф. Т. 1. М.: ЛЕНАНД, 2008. С. 25–31. **11. Фридман А.Я., Фридман О.В.** Градиентный метод координации управлений иерархическими и сетевыми структурами // Информационно-управляющие системы. 2010. № 6. С. 13–20. **12. Fridman A., Fridman O.** Gradient Coordination Technique for Controlling Hierarchical and Network Systems / Systems Research Forum. 2010. Vol. 4, No. 2. P. 121–136. (DOI: 10.1142/S1793966610000223). **13. Sokolov B., Fridman A.** Integrated Situational Modelling of Industry-Business Processes for Every Stage of Their Life Cycle // Proceedings of 4th International IEEE Conference “Intelligent Systems” (IS 2008), Varna, Bulgaria, September 6-8, 2008, Vol. 1. P. 8–40. **14. Таха Х.** Введение в исследование операций: в 2-х кн. Пер. с англ. М.: Мир, 1985. **15. Уемов А.И.** Системный подход и общая теория систем. М.: Мысль, 1978. **16. Forrester, Jay W.** 1971. World Dynamics. (1973 second ed.). Portland, OR: Productivity Press. **17. Месарович М. и др.** Теория иерархических многоуровневых систем / М. Месарович, Д. Мако, И. Такахара. М.: Мир, 1973. 344 с. **18. Стефанюк В.Л.** Локальная организация интеллектуальных систем. М.: Физматлит, 2004. **19. Дьяконов В.П.** VisSim+Mathcad+MATLAB. Визуальное математическое моделирование. М.: СОЛОН-Пресс, 2004. (Серия “Полное руководство пользователя”). **20. Boardman, J., and B. Sauser.** 2006. System of Systems: The Meaning of of. Paper read at IEEE International System of Systems Conference, April 24-26, at Los Angeles, CA. **21. Gell-Mann, M.** 2000. An Enlarged Concept of Sustainability. Talk at meeting of SFI Business Network. **22. Gorod, A. and B. Sauser.** 2007. An Application of Prim’s Algorithm in Defining a SoS Operational Boundary. 5th Conference on Systems Engineering Research (CSER), March 14-16, Hoboken, NJ. **23. Gorod, A., B. Sauser, and J. Boardman.** 2008. “Paradox: Holarchical View of System of Systems Engineering Management.” IEEE International Conference on System of Systems Engineering. June 2-4. Monterey, CA. **24. Gorod, A., J. Gandhi, B. Sauser, J. Boardman.** 2008. “Flexibility of System of Systems.” Global Journal of Flexible Systems Management. 9(4). **25. Gorod, A., R. Gove, B. Sauser, and J. Boardman.** 2007. “System of Systems Management: A Network Management Approach.” IEEE International Conference on System of Systems Engineering. April 15-17. San Antonio, TX. IEEE Standard for Application and Management of the Systems Engineering Process, IEEE, 2005. p. 1220. **26. Samuel Epelbaum, Mo Mansouri, Alex Gorod, Alexander Fridman, Brian Sauser.** Target Evaluation and Correlation Method (TECM) as an Assessment Approach to Global Earth Observation System of Systems (GEOSS) / International Journal of Applied Geospatial Research, 2(1), January-March 2011, pp.36-62. (DOI: 10.4018/jagr.2011010103). **27. Sauser, B., J. Boardman, and A. Gorod.** 2008. “SoS Management” in System of Systems Engineering: Innovations for the 21st Century; M. Jamshidi (ed.) Hoboken, NJ: Wiley & Sons. **28. Gorod, A., B. Sauser, J. Boardman.** 2008. “System of Systems Engineering Management: A Review of Modern History and a Path Forward.” IEEE Systems Journal. 2(4):484-499. **29. Newman, M., A-L.Barabási, and D. Watts.** 2006. The Structure and Dynamics of Networks, Princeton University Press. **30. Prim, R.** 1957. Shortest connection networks and some generalizations. Bell System Technical Journal 36, 1389-1401. **31. Shenhar, A.** 1994. A New Systems Engineering Taxonomy. In 4th. International Symposium National Council Systems Engineering. **32. Салуквадзе М.Е.** Задачи векторной оптимизации в теории управления. Тбилиси: Мецниереба, 1975. **33. Виноградов А.Н. и др.** Динамические интеллектуальные системы. II. Моделирование целенаправленного поведения / А.Н. Виноградов, Л.Ю. Жиликова, Г.С. Осипов // Известия РАН. Теория и системы управления. М.: Наука, 2003. № 1. С. 87–94.

Сведения об авторах

Фридман Александр Яковлевич – д.т.н., профессор, зав. лаб.; e-mail: fridman@iimm.kolasc.net.ru

Фридман Ольга Владимировна – к.т.н., с.н.с.; e-mail: ofridman@iimm.kolasc.net.ru

ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ В ЗАДАЧАХ МЕНЕДЖМЕНТА КАЧЕСТВА ОБРАЗОВАНИЯ ВУЗА

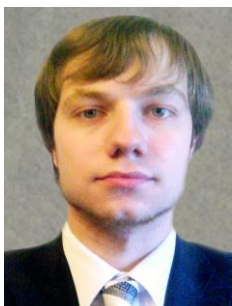
В.В. Быстров, Ю.О. Самойлов
ИИММ КНЦ РАН

Аннотация

Приводятся некоторые теоретические и практические результаты исследований, проводимых в Институте информатики и математического моделирования КНЦ РАН в сфере менеджмента качества образования. Предлагается использовать мощные возможности имитационного моделирования для создания информационных технологий и средств управления качеством образования. Рассматривается специфика применения агентного подхода к моделированию учебного процесса отдельного вуза. Приводится описание практической реализации отдельных элементов модели с помощью средства Anylogic.

Ключевые слова:

информационная технология, качество, образование, имитационное моделирование, агенты.



Введение

Современная Россия переживает важный и сложный период своего развития. За последние два десятилетия произошла кардинальная трансформация экономического уклада, политического устройства, системы социально-культурных ценностей российского общества.

Хорошо известный факт, что текущее состояние системы образования страны влияет на все аспекты ее жизнедеятельности. Система образования задает моральный облик целым поколениям людей, которые и

нравственный,

определяют дальнейшее будущее страны, непосредственно влияют на темпы ее экономического, технологического и культурного развития. В связи с этим в государстве остро стоит вопрос подготовки конкурентоспособных молодых специалистов.

Проблема качества образования постоянно привлекает к себе внимание отечественных и зарубежных исследователей. Непрерывно предпринимающиеся на протяжении последних десятилетий попытки реформировать отечественную систему образования имеют в основном ситуативный характер. Вследствие этого многих граждан начинает остро волновать состояние образования в России, возможные результаты проводимых правительством реформ в этой сфере. Данный факт способствует появлению научно-исследовательских работ, направленных на повышение эффективности функционирования системы образования, исследование различных теоретических и прикладных аспектов явлений и процессов, протекающих в научно-образовательной сфере.

Менеджмент качества или управление качеством образования – одно из направлений подобных исследований, бурно развивающееся в последние годы. Если говорить об истории появления термина «менеджмент качества образования», то можно отметить, что его употребление обязано международному стандарту ISO 9000, который декларирует основные принципы построения систем качества. По современной версии стандарта ИСО-9000 система качества трактуется как система менеджмента качества, которая состоит из трех подсистем: система управления качеством, система обеспечения качеством и система подтверждения качества [1]. Управление качеством базируется на документации, в которой описываются все процессы и процедуры, а также действия участников процессов для достижения требуемого уровня качества.

Чтобы непосредственно строить систему качества, необходимо определиться, что такое качество. По этому поводу не стихают бурные дискуссии и споры в российском научно-педагогическом сообществе, но все склоняются к мнению, что это комплексное понятие, сложно поддающееся количественному измерению. Одним из подходов к количественной оценке качества образования является применение некоторого набора показателей, на основе которых и судят о качестве в целом.

Авторы данной статьи считают, что качество образования можно определить как сбалансированное соответствие совокупности свойств и характеристик образовательного процесса, его результатов, и всей системы образования установленным потребностям, целям, требованиям и нормам, которые определяются предприятиями, организациями и государством.

На текущий момент нельзя быть полностью уверенным, что образование в конкретно взятом учебном заведении соответствует именно тем стандартам, которые диктует современное общество. Невозможно также предугадать, принесет ли пользу какая-либо учебная программа, используемая данным учебным заведением. Последствия ошибочного составления учебного плана чреваты негативными явлениями как для обучающихся, так и для репутации заведения.

Переподготовка специалистов, в которых современное общество более не нуждается вследствие произведенных прогрессом инноваций, – еще одна злободневная тема нашего времени. Техника идет вперед, отвергая устаревшие стереотипы. Неизбежно устаревают и профессии.

Таким образом, создание методов и информационных технологий управления качеством подготовки и переподготовки специалистов в системе высшего и среднего специального образования для нужд промышленности нашей страны является актуальной задачей. Применение современных методов моделирования к менеджменту качества образования – один из возможных путей решения данной задачи. Авторы считают, что есть необходимость в разработке информационной технологии, которая позволила бы прогнозировать тенденции образовательного процесса и своевременно реагировать на них. Предлагается выполнить задачу путем прохождения классического цикла разработки имитационной модели, но с учетом специфики предметной области и применением наработок Института информатики и математического моделирования КНЦ РАН в области моделирования социально-экономических систем. Таким образом, процесс можно разбить на следующие этапы: разработка формальной модели процесса обучения; ее реализация с помощью современных средств и методов имитационного моделирования; проверка адекватности построенной модели; выработка информационной технологии управления качеством образования на уровне отдельного высшего учебного заведения. Технология опирается на полученные данные в ходе многократной имитации и специально разработанное дополнительное программное обеспечение.

Основное назначение имитационной модели заключается в возможности тестировать учебные планы, выявлять положительные и негативные факторы и недостающие элементы образовательного процесса. Все это может служить информацией для принятия рациональных решений по улучшению качества образовательного процесса.

В настоящее время бурными темпами развиваются различные способы моделирования абсолютно разных процессов. В связи с этим отличаются и парадигмы, лежащие в основе этих способов. В качестве платформы для разработки модели выбрана система отечественных разработчиков AnyLogic, так как данное программное средство поддерживает различные подходы имитационного моделирования, включая агентный подход, успешно применяемый в различных сферах деятельности. Кроме того, по мнению многих специалистов, AnyLogic – очень удобный инструмент моделирования, позволяющий создавать гибкие модели с агентами, взаимодействующими как друг с другом, так и со своим окружением [2].

Имитационная модель

Активные сущности, способные взаимодействовать между собой и окружающей средой и обладающие своим собственным поведением, принято называть агентами. В отличие от системной динамики, при использовании агентного подхода аналитик определяет поведение агентов на индивидуальном уровне, а глобальное поведение возникает как результат деятельности множества таких агентов (моделирование «снизу вверх»). Такой подход подходит для моделирования учебного процесса вуза ввиду наличия большого количества однотипных объектов, каждый из которых обладает своими характеристиками и своим собственным поведением.

Система образования включает в себя довольно большое количество структурных элементов, которые предстоит описать и связать в единую модель (рис. 1). В качестве агентов такой имитационной модели были выбраны «студенты» и «преподаватели», а сцены – аудиторские занятия. Для оценки качества образования используются значения уровней знаний, полученных студентами по каждой дисциплине учебного плана. Для каждого студента имитируется уровень усвоения каждой дисциплины.

Сцены – аудиторские занятия, на которых происходят действия агентов по передаче и получению знаний. Сцены имеют ряд параметров, которые могут влиять на эффективность действий

агентов и на качество образования. Сцена «Аудиторные занятия» имеет следующие параметры: учебный план, лабораторная база, библиотека, качество аудиторий. Учебный план представляет собой набор дисциплин с проекцией на временную шкалу и связей между дисциплинами, отражающими степень их взаимного влияния с точки зрения усвоения. Набор отношений между дисциплинами является подмножеством декартова произведения набора дисциплин на себя. Лабораторная база определяется набором и качеством лабораторного оборудования. Библиотека – ассортиментом и количеством изданий для каждой группы дисциплин. Качество аудиторий – соответствием санитарным нормам и наличием мультимедийной техники.

Агентами реализуются проактивные сущности – преподаватель и студент. Количество агентов первого типа равно количеству преподавателей. Каждый агент параметризуется по данным конкретного преподавателя. Параметрами являются: квалификация, компетентность, опыт работы, профессиональные качества, личные качества. Квалификацию преподавателя определяет ученая степень. Профессионально-педагогическая компетентность содержит пять видов компетентности, значения каждого из которых определяются экспертными методами [3]: специальная и профессиональная компетентность в области преподаваемой дисциплины; методическая компетентность в области способов формирования знаний, умений у студентов; социально-педагогическая компетентность в области процессов общения; дифференциально-психологическая компетентность в области мотивов, способностей, направлений учащихся; аутопсихологическая компетентность в области достоинств и недостатков собственной деятельности и личности. Опыт работы задается формально. Профессиональные и личные качества определяются с помощью анкетирования.

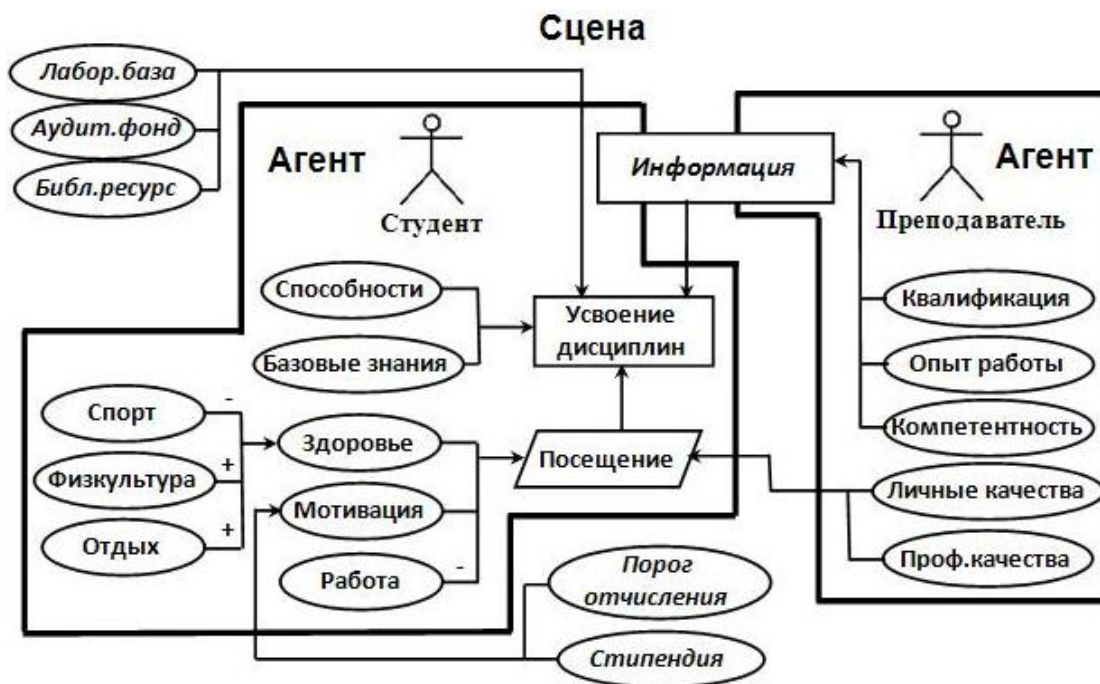


Рис. 1. Схема модели образовательного процесса

Количество агентов второго типа равно количеству студентов одного курса (взаимодействие между студентами разных курсов в модели не рассматривается). Каждый агент также параметризуется по данным конкретного студента и, кроме того, имеет набор параметров (уровень усвоения каждой дисциплины учебного плана), которые являются выходными и используются для оценки качества образования. Основными параметрами «студента» являются базовые знания, уровень усвоения дисциплины, способности, мотивация, состояние здоровья. Базовые знания для студентов первого курса определяются по результатам ЕГЭ, далее учитываются значения параметра усвоения каждой дисциплины учебного плана. Способности определяются в процессе психодиагностического тестирования. Мотивация и состояние здоровья могут изменяться в процессе имитации.

Реализация модели

В качестве средства моделирования была взята среда Anylogic 5.0, предоставляющая достаточно большой арсенал инструментов по созданию полимодельных комплексов и представлению результатов их имитации. Так в среде моделирования сцена представляет собой основной активный объект, вмещающий в себя остальные объекты. В качестве сцены использовалось аудиторное занятие.

Параметры в среде AnyLogic можно задать двумя способами:

- в качестве переменной;
- в качестве параметра активного объекта.

Целесообразно воспользоваться этой возможностью среды и распределить переменные между двумя этими способами задания, то есть необходимо разбить переменные на группы по признакам. Совершенно очевидно, что качество аудиторий, лабораторную базу, а также полноту библиотечных ресурсов следует рассматривать именно как параметры активного объекта (сцены). Объяснение этому можно найти в том, что данные параметры практически не подлежат изменению. Ухудшение или улучшение условий преподавания является долговременным процессом, а также требует многих ресурсов, вследствие чего данные параметры имеют тенденцию к постоянству значений.

Чтобы задать данные параметры, необходимо их оценить. Простейшим способом в данном случае является процентное соотношение реальных условий и идеальных, то есть следует оценить, какую долю комфорта (если речь идет о качестве аудитории) обеспечивает аудитория по сравнению с максимально удобной. С точки зрения определения типов данных эту ситуацию можно представить в виде переменных, принимающих вещественные значения на интервале от 0 до 1, где 0 интерпретируется как полное отсутствие комфорта, 1 – идеальное качество аудитории.

Рассмотрим теперь параметр стипендии. Свойства этого параметра наилучшим образом передаются свойствами переменной, так как пользователю необходимо производить различные манипуляции с объектом такого рода, то есть размер стипендии необходимо регулировать. Из анализа предметной области следует, что параметр «стипендия» может принимать положительные вещественные значения.

В среде моделирования учебный план в виде двумерного массива. Каждая строка массива характеризует совокупность дисциплин отдельно взятого семестра. Количество столбцов равно количеству семестров в учебном плане подготовки специалистов.

С точки зрения агентного подхода на сцене размещаются агенты. Каждый агент является проактивной сущностью, способной взаимодействовать с окружающей средой и другими объектами. В качестве таких сущностей в работе выделены и реализованы два типа агентов – «преподаватель» и «студент». В пространстве функционирования сцены для синхронизации работы агентов был размещен объект «таймер», который срабатывает с шагом, равным одному учебному семестру.

Рассмотрим более подробно агент «преподаватель». Присвоив некоторому экземпляру агента значение вышеописанных параметров, мы получим определенного преподавателя, имеющего некоторые присущие ему качества, характеризующие его деятельность в образовательной сфере. Из этих качеств складывается способность преподавателя доносить до студентов знания. Основными из задач педагога являются структуризация и наглядное представление материала с целью наиболее эффективного усвоения информации обучающимися.

Личные и профессиональные качества преподавателя относятся к свойствам объекта. Данные свойства задаются в среде моделирования в виде переменных, принимающих вещественные значения. Усложняет задачу многократное числовое описание абстрактных и сугубо субъективных понятий, хотя благодаря опросу студентов и коллег можно с достаточной точностью охарактеризовать того или иного преподавателя.

Квалификацию, компетентность и опыт работы логично задать в виде переменных, которые в процессе образовательной деятельности способны изменяться. Опыт работы целесообразно определить в виде неотрицательной переменной вещественного типа, которая будет показывать, сколько лет преподаватель отработал в образовательной сфере. Компетентность является более абстрактным понятием, которое характеризует качество знаний самого преподавателя по преподаваемой им дисциплине. У этой переменной есть некоторое сходство со знаниями студента, фактически это такая же оценка знаний. Поэтому естественно использовать пятибалльную шкалу, хотя следует отметить, что приближение или округление такого рода значений может привести к абсолютно одинаковым результатам среди различных преподавателей. Также это может привести к

возрастанию погрешности результатов моделирования, в связи с этим лучше использовать вещественный тип.

Неотъемлемой частью преподавательской деятельности является сам процесс преподавания. Тогда введем состояние «преподавать». Похоже, что в нашей модели это единственное состояние данного типа агента, в которое он переходит из семестра в семестр, при этом приобретая опыт преподавания.

Переход внутри состояния «преподавать» связан с переходом в следующий семестр, следовательно, условием перехода является модельный шаг. В среде AnyLogic такой переход называется переходом по таймауту.

Теперь рассмотрим агент «студент». Одним из допущений в ходе разработки имитационной модели является то, что личные качества студента не изменяются в ходе образовательного процесса. Выше описан набор параметров агента «преподаватель», характеризующий личные качества преподавателя. Исходя из тех же самых рассуждений параметры агента «студент» задаются в виде вещественных переменных. В ходе обучения не изменяются результаты единого государственного экзамена, которые принято представлять в виде суммы баллов по трем дисциплинам. Таким образом, переменная «базовые знания» будет принимать значения от 0 до 300.

В области функционирования активного объекта «студент» параметр «здоровье» является уровнем, на изменение которого влияют такие переменные, как отдых, физкультура и спорт. В имитационной модели было принято, что отдых и физкультура являются положительными факторами для здоровья, а спорт – отрицательным. В свою очередь, здоровье влияет на посещаемость студента. Таким образом, при создании переменной, отвечающей за посещаемость, необходимо учитывать взаимосвязь объектов в области функционирования активного объекта «студент». На посещаемость также влияют мотивация и занятость внеучебной деятельностью, например, наличие работы.

Целевой параметр разработанной модели – параметр отображения полученных студентом знаний от преподавателя, поэтому была определена переменная «знания». Переменная такого рода должна отображать количественную оценку знаний студента по всем дисциплинам, в связи с этим она представляется в виде двумерного массива, в котором количество столбцов равно количеству семестров в учебном плане, а количество строчек равно максимальному количеству дисциплин в семестре. В работе учитывается взаимосвязь параметра «знания» с посещаемостью и способностями студента, знаниями преподавателя.

Рассмотрим поведение агента «студент». Агент должен пребывать в состоянии обучения – целевом состоянии, которое является главным, а также начальным состоянием агента. Так как шагом модели является один семестр, то во время перехода в иное состояние необходимо проверить, насколько хорошо студент учился в семестре.

С этой целью было введено состояние «сессия». Переход в состояние «сессия» определяется сигналом таймера модели. Основное назначение данного состояния имитировать возможность отчисления студентов за неуспеваемость. По этой причине состояние «сессия» может переходить как обратно в состояние «обучение», так и в состояние «отчислен». Переход в состояние «отчислен» реализовано в виде проверки условия на сравнения количества неудовлетворительных оценок за семестр с порогом отчисления. Определено также и четвертое состояние «академический отпуск», переход в которое возможен при плохом здоровье студента. Из этого состояния агент осуществляет обратный переход в состояние «обучение» по истечении двух модельных шагов, то есть года обучения.

При разработке имитационной модели был учтен тот факт, что эксперимент или образовательный процесс длится не более 10 семестров, таким образом, если отображать семестр как единицу модельного времени, модель будет работать 10 шагов. Следовательно, в среде AnyLogic для проведения непосредственной имитации создавался эксперимент, и с помощью встроенных средств среды разрабатывался пользовательский интерфейс настройки модели и представления результатов.

Результаты моделирования

Верификация имитационной модели проводилась на основе статистических данных с применением экспертных оценок. В ходе исследования брались данные о группе (30 чел.) студентов факультета информатики и прикладной математики Кольского филиала Петрозаводского государственного университета 2006 года поступления, обучающихся по пятилетней программе специальности «Информационные системы». На основе результатов вступительных испытаний и

профориентированного тестирования задавались конкретные значения параметров агентов «студент». На основе данных о профессорско-преподавательском составе с использованием экспертных оценок задавались конкретные параметры агентов «преподаватель», имитирующих поведение педагога в процессе передачи знаний. Преподавание каждой дисциплины имитировалось путем генерации последовательности сцен с определенными параметрами с набором агентов типа «студент» и одним агентом типа «преподаватель».

В ходе проведения исследований были выделены три основных направления использования имитационной модели для управления качеством образовательных услуг вуза. Было предложено назвать их «информационными технологиями управления».

1. *Прямая задача моделирования или непосредственно задача управления качеством образования.* Основная идея которой заключается в том, чтобы на основе заданных параметров агентов и сцены получить уровень успеваемости в различных срезах. Если представить модель в виде черного ящика, то в качестве входных параметров задаются значения всех параметров каждого студента и преподавателя.

В качестве внутренней составляющей модели берутся параметры сцены. На выходе модели получают матрицу усвоения Z , которая содержит информацию об уровне усвоения каждой дисциплины учебного плана каждым студентом (z_{ij}). Выполняя различные срезы результатов многократной имитации, можно делать выводы о поведении образовательного процесса в целом. В качестве среза можно взять усредненный уровень усвоения, средний уровень усвоения конкретной дисциплины, количество усвоивших конкретную дисциплину. Можно рассматривать результаты с точки зрения математической статистики, представляя уровни усвоения дисциплин в виде распределения некоторой случайной величины, и анализировать ее характеристики с помощью этого математического аппарата.

Разрабатываемую агентную модель можно использовать для управления качеством образования по следующему принципу. На начальном этапе настраивается модель, т.е. берутся данные о реальных студентах и преподавателях, сцене и закладываются в качестве значений параметров. Осуществляется имитация (несколько имитаций). На выходе получают некоторый результат усвоения. Если он не устраивает, то начинают искать причину неудовлетворенности. Осуществляется это путем варьирования различных параметров агентов. Т.е. рассматриваются различные ситуации по типу «Что будет, если...?». Возможны следующие варианты: различные категории студентов дать реальным преподавателям, или реальным студентам дать различные категории преподавателей. За счет таких вариаций выделяют факторы, которые приводят либо к увеличению результата, либо к уменьшению, т.е. таким способом определяется, что нужно поменять в вузе, чтобы улучшить качество образования. В работе рассматривались следующие варианты:

- «хорошие студенты – реальные преподаватели»;
- «плохие студенты – реальные преподаватели»;
- «реальные студенты – плохие преподаватели»;
- «реальные студенты – хорошие преподаватели».

2. *Задача распределения приоритетов.* В этом случае студент под себя настраивает один агент и смотрит полученные результаты моделирования, тем самым модель выступает в качестве средства распределения внимания студента между изучаемыми дисциплинами.

Идея похожа на первую задачу, но главное отличие заключается в том, что здесь настраивается лишь агент типа «студент» (подразумевается, что в качестве исследователя модели выступает сам студент). Основной задаваемый параметр – это вектор заинтересованности агента, который показывает, какое внимание уделяет студент каждой дисциплине. На выходе модели получается вектор усвоения дисциплин. Анализируя этот вектор, студент видит, к чему привели заданные им параметры. И при следующей имитации он может перераспределить внимание, тем самым пытаясь улучшить конечный результат.

3. *Обратная задача.* В данном случае необходимо по заданным целевым значениям уровня усвоения найти значения параметров агента с учетом минимизации прикладываемых усилий.

Данная задача очень похожа на динамическое программирование. Сходство заключается в обратном времени решении задачи. В данном случае задается целевое значение уровня усвоения на выходе модели и задача определить возможные комбинации параметров, значения которых привели к этому целевому результату. Графически идею можно представить в виде следующей схемы, где Z_c – целевое значение, Z_i – множество успеваемости на i семестре. В результате получается некая область допустимых траекторий, приводящих к целевому множеству. Эта фигура – конус (рис. 2).

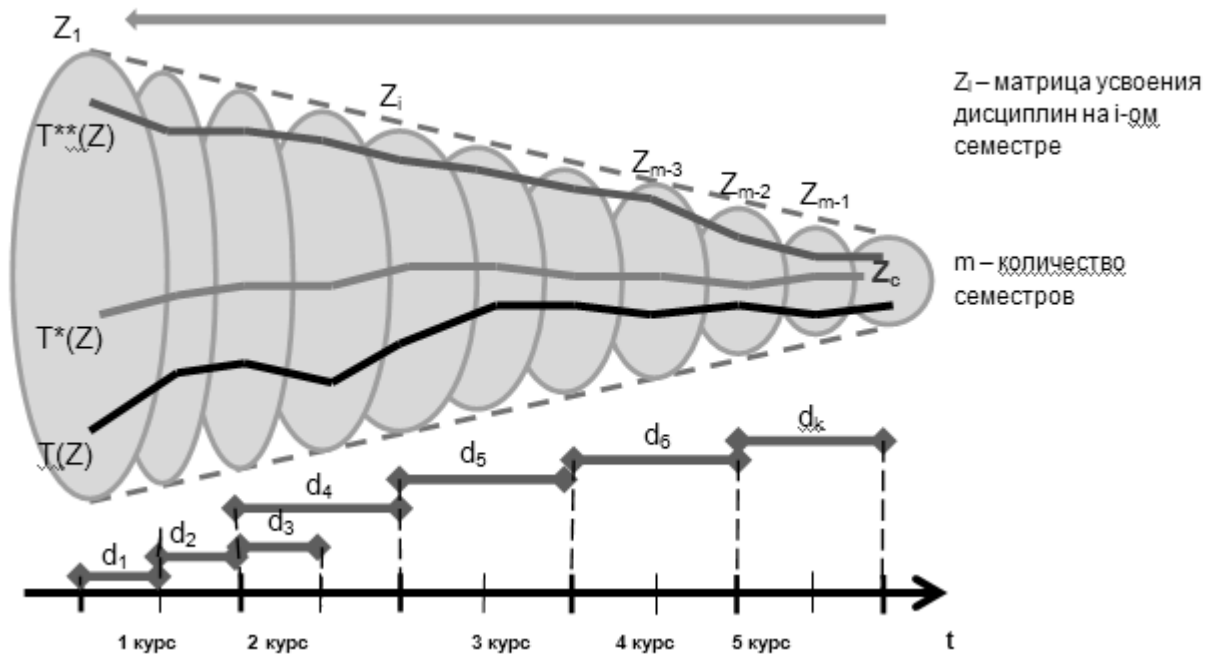


Рис. 2. Множество допустимых траекторий усвоения дисциплин

Если ввести в рассмотрение некоторую функцию затрат или прилагаемых усилий, зависящую от матрицы успеваемости, то можно поставить различные оптимизационные задачи. Например, как достигнуть целевого множества, приложив к этому минимум затрат и усилий, или как достигнуть целевого состояния, получив максимум знаний, но при этом затратив минимум усилий.

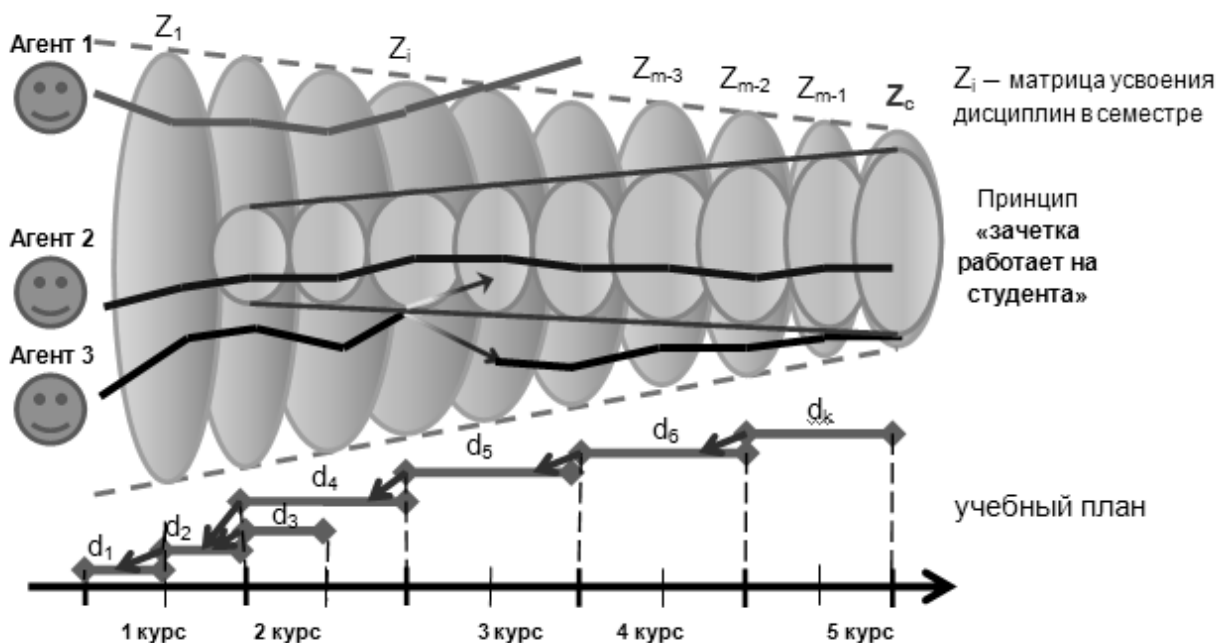


Рис. 3. Обратная задача моделирования

На рисунке 3 приводится схематичное представление основной идеи решения обратной задачи моделирования. Каждый агент типа «студент» движется по своей траектории обучения, которая характеризуется своей матрицей усвоения Z в каждом семестре. Таким образом, большой конус является множеством допустимых учебных траекторий, оставаясь внутри которого, агент гарантирует достижения конечной цели, а именно получение диплома о высшем образовании. Если

учебная траектория отдельного агента выходит за границы большого конуса, то это означает его отчисление из числа студентов. В нижней части рисунка приводится взаимосвязь различных дисциплин учебного плана, который необходимо выполнить каждому агенту. Кроме того, на рисунке изображен так называемый принцип «зачетка работает на студента»: когда студент на младших курсах, получая отметки на экзаменах, составляет о себе репутацию среди профессорско-преподавательского состава, и на старших курсах преподаватели выставляют итоговые оценки, принимая во внимание текущую репутацию студента. Тем самым облегчается достижение целевого значения для студента на старших курсах. Графически это можно представить как конус малого объема, направленный в противоположную сторону по отношению к большому конусу. Выход учебной траектории за пределы малого конуса не означает его отчисление, а лишь показывает, что данный агент будет достигать целевого значения с приложением больших усилий к образовательному процессу. Стрелками разного оттенка показывается степень усилий, которые нужно приложить студенту, чтобы его учебная траектория поменяла свое положение по отношению к малому конусу. То есть выйти студенту за пределы малого конуса проще, чем туда вернуться вновь.

Заключение

Исследование процессов, протекающих внутри любого учебного заведения, а тем более всей образовательной системы региона, является чрезвычайно сложной задачей. Но текущая ситуация в стране заставляет заниматься проблемами организации деятельности системы высшего и среднепрофессионального образования, в частности, вопросами создания и эффективного функционирования системы менеджмента качества в каждом учебном заведении.

Авторы данной статьи предлагают использовать имитационное моделирование в задачах менеджмента качества в рамках одного высшего учебного заведения. Предлагаемый подход позволяет путем многократной имитации формировать предпочтительные с точки зрения качества выпускаемых специалистов сценарии управления образовательной деятельностью учебного заведения. Имитационная модель дает возможность прогнозирования последствий изменения значений управляющих параметров относительно качества образования.

ЛИТЕРАТУРА

1. Системы управления качеством образования в вузах / *В.П. Соловьев, А.И. Кочетов, Е.Ю. Тишина, Е.В. Плотникова*. Режим доступа: www.misis.ru 2. *Павловский Ю.Н.* Имитационное моделирование: уч. пос. для вузов / *Ю.Н. Павловский, Н.В. Белотелов, Ю.И. Бродский*. М.: Издательский центр «Академия», 2008. 237 с. 3. Системные ресурсы качества высшего образования России и Европы / *Н.И. Булаев, В.Н. Козлов, А.А. Оводенко, А.И. Рудской*. СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2007. 226 с.

Сведения об авторах:

Быстров Виталий Викторович – к.т.н., научный сотрудник; e-mail: bystrov@iimm.kolasc.net.ru

Самойлов Юрий Олегович – аспирант, инженер-программист; e-mail: samoilov@arcticsu.ru

35-й ежегодный международный семинар «Физика авроральных явлений».

ПГИ КНЦ РАН, 28 февраля – 2 марта 2012 г.

Семинар открыл директор ПГИ Евгений Дмитриевич Терещенко.

Общее число участников Семинара в 2012 г. – 108 чел. Надо отметить, что в работе семинара участвовало довольно много молодых ученых. Одна только кафедра Физики Земли СПбГУ направила на семинар группу из 9 студентов и аспирантов.

Заседания проходили по семи сессиям:

- Бури и суббури;
- Поля, токи, частицы в магнитосфере;
- Волны и взаимодействие волна-частица;
- Солнце, солнечный ветер, космические лучи;
- Ионосфера и верхняя атмосфера;
- Нижняя атмосфера, озон;
- Гелиобиосфера.

В работе Семинара приняли участие сотрудники из следующих организаций: ААНИИ, Государственная Морская академия, ИЗМИРАН ЗО, ИКИ РАН, ИКФИА, ИНАСАН, ИПФ РАН, ИФЗ РАН, МГТУ, НГПУ, НИИЯФ МГУ, ННГАСУ, ОМБП КНЦ РАН, ПГИ КНЦ РАН, СПбГУ, СПбФ ИЗМИРАН, ФИАН.

С приглашенными и обзорными докладами на Семинаре выступили Е.И. Гордеев (СПбГУ), В.Г. Воробьев (ПГИ), А.Г. Демехов (ИНФ РАН), Е.И. Антонова (НИИЯФ МГУ), Н.Г. Клейменова (ИФЗ РАН).

Состоялось награждение победителей очередного конкурса, который проводится под эгидой ПГИ и секции магнитосферы Совета «Солнце-Земля» РАН, на соискание памятного диплома Ю.П. Мальцева "За лучшую работу молодого российского ученого в области физики магнитосферы". Победителем конкурса стал Е.И. Гордеев (Кафедра физики Земли СПбГУ). Второе и третье место в конкурсе поделили Д.А. Козлов (ИСЗФ СО РАН) и М.В. Клименко (Западное отделение ИЗМИРАН).

IX Всероссийская школа-семинар «Прикладные проблемы управления макросистемами».

ИИММ КНЦ РАН, 26–30 марта 2012 г.

Организатором Школы-семинара выступает Институт системного анализа РАН. До 2004 г. конференция проводилась в различных городах России. В ее работе принимали участие отечественные и зарубежные ученые. С 2004 года Школа-семинар проводится регулярно один раз в два года в г. Апатиты на базе Института информатики и математического моделирования технологических процессов Кольского научного центра РАН. Тематика школы включает в себя общие вопросы развития методологии системного подхода и системного анализа. Большое внимание уделяется вопросам разработки информационных технологий управления макросистемами и модельно-информационным аспектам исследования социально-экономических и технологических макросистем.

В 2012 г. в работе школы-семинара приняли участие 40 человек, в т.ч. ученые из Института системного анализа РАН, Института проблем управления РАН им. В.А. Трапезникова, Санкт-Петербургского института информатики и автоматизации РАН и др. Активное участие в работе школы-семинара принимали молодые ученые. В рамках школы-семинара традиционно были организованы выездные семинары, на которых ученые из крупных столичных институтов выступали с докладами и лекциями перед студентами старших курсов факультета ИПМ Кольского филиала ПетрГУ.

IX Всероссийская (с международным участием) Ферсмановская научная сессия, посвященная 60-летию Геологического института КНЦ РАН.

ГИ КНЦ РАН, 2–4 апреля 2012 г.

В рамках трех секций конференции («История геологического изучения Кольского региона», пред. проф. Ю.Л. Войтеховский; «Региональная геология, металлогения и геохронология», пред. проф. Ю.Л.

Войтеховский; «Общая, генетическая, технологическая и техническая минералогия», пред. д.г.-м.н. А.В. Волошин, к.г.-м.н. Ю.Н. Нерадовский) были представлены 36 устных и 19 стендовых докладов.

По совокупности докладов можно констатировать, что минералогические исследования в России и на территории Кольского региона в частности находятся на высоком методическом уровне. За последние несколько лет получены замечательные результаты: открытие и изучение нескольких Au-Ag-содержащих рудопоявлений, установление комплексного (с REE) характера кианитовых руд Б. Кейв, открытие новых минеральных видов и установление их уникальных сорбционных свойств, последовательное наращивание рудного потенциала недавно обоснованной Кольской ЭПГ провинции и т.д. Это направление исследований обеспечено научными кадрами. Непреходящей проблемой является отсутствие современного оборудования для прецизионного изучения структур и химического состава минералов. Сегодня она в неполной мере решается коллективными усилиями сотрудников различных лабораторий академических институтов и университетов страны, базирующимися более на личных отношениях, чем на продуманной государственной политике.

В заключение состоялась продолжительная дискуссия, на которой, кроме обсуждения сугубо научных вопросов, была подчеркнута необходимость кооперации усилий, создания баз данных, обмена информацией и аналитическими ресурсами.

В IX Всероссийской (с международным участием) Ферсмановской научной сессии, посвященной 60-летию Геологического института КНЦ РАН, приняли участие в качестве докладчиков около 100 научных сотрудников из Апатитов (ИХТРЭМС, ЦНМ, ИППЭС, АФ МГТУ), Владивостока (ДВГИ ДВО РАН), Воронежа (ВГУ), Екатеринбурга (ИГТ УрО РАН), Иркутска (ИЗК СО РАН), Казани (КГУ), Кировска (ИКМ), Ковдора (ГОК), Мирного (АЛРОСА), Москвы (ОНЗ РАН, ИГЕМ, ГГМ им. Вернадского), Мурманска (МГТУ), Петрозаводска (ИГ КарНЦ РАН), пос. Савинского, Санкт-Петербурга (Горный институт, РМО), Сыктывкара (Коми НЦ УрО РАН), Уфы (БашГУ), Хабаровска (ДВГИ). Международное участие обеспечено сотрудниками Института минералогии и кристаллографии Болгарской АН М. Тарасовым и Е. Тарасовой в докладе «Эволюция состава бритолита-(Y) в постмагматическом процессе на примере силекситов щелочных гранитов Кольского полуострова».

80 научных статей по материалам докладов конференции вошли в Труды IX Всероссийской (с международным участием) Ферсмановской научной сессии. После опубликования они будут представлены в РФФИ и разосланы в библиотеки институтов ОНЗ РАН, геологических факультетов университетов, крупнейших публичных государственных библиотек и отделений РМО.

Решения конференции:

1. Считать программу IX Всероссийской (с международным участием) Ферсмановской научной сессии, посвященной 60-летию Геологического института КНЦ РАН, полностью выполненной.

2. Опубликовать Труды IX Всероссийской (с международным участием) Ферсмановской научной сессии, посвященной 60-летию Геологического института КНЦ РАН, в виде сборника полнотекстовых статей.

3. Разослать Труды IX Всероссийской (с международным участием) Ферсмановской научной сессии, посвященной 60-летию Геологического института КНЦ РАН, в главные научно-технические библиотеки страны, библиотеки институтов ОНЗ РАН, геологических кафедр университетов и отделений Российского минералогического общества.

4. Провести юбилейную X Всероссийскую (с международным участием) Ферсмановскую научную сессию на базе Геологического института КНЦ РАН в г. Апатиты в апреле 2013 г.

5. Ввиду кадровых проблем и ограниченное финансирование считать важной концентрацию усилий на изучении стратегических полезных ископаемых.

6. Считать целесообразным междисциплинарный подход в решении минералогических проблем.

7. Считать важной межрегиональную и международную кооперацию научных исследований, приветствовать участие зарубежных коллег в Ферсмановских научных сессиях.

8. Активизировать участие научной молодежи в Ферсмановских научных сессиях.

9. Приветствовать участие в Ферсмановских научных сессиях сотрудников производственных геологических организаций.

10. Осветить результаты IX Всероссийской (с международным участием) Ферсмановской научной сессии, посвященной 60-летию Геологического института КНЦ РАН, на сайтах Геологического института КНЦ РАН и Российского минералогического общества.

11. Вынести благодарность Российскому фонду фундаментальных исследований за поддержку IX Всероссийской (с международным участием) Ферсмановской научной сессии, посвященной 60-летию Геологического института КНЦ РАН.

VIII Межрегиональная конференция молодых ученых «Научно-практические проблемы в области химии и химических технологий».

ИХТРЭМС КНЦ РАН, 11–13 апрель 2012 г.

На конференции присутствовали около 100 представителей ИХТРЭМС КНЦ РАН, Апатитского филиала Мурманского государственного технического университета и иногородних вузов. За время работы конференции представлены 2 пленарных, 23 устных и 12 стендовых докладов. В работах показаны исследования монокристаллов ниобата лития, легированных различными элементами (магнием, медью) по спектрам КРС. Изучены способы электрохимического получения карбидов и полукарбидов молибдена и тантала на подложках из сталей и углеродных волокнах. Несколько докладов были посвящены разработке эффективных сорбционных материалов для очистки оборотных и сточных вод от загрязнителей, ионов тяжелых и цветных металлов, утилизации нефти и нефтепродуктов при аварийных разливах. Представлены экспериментальные работы по влиянию предварительной механоактивации на процессы вскрытия минералов и концентратов. Большое внимание слушателей привлекли исследования, где с применением методов флотации, экстракции, коагуляции показана возможность переработки медно-цинкового, никельсодержащего сырья. Участники затрагивали проблемы вторичного использования отходов горнопромышленных предприятий, с целью получения строительной керамики, компонентов вяжущих.

VI Международная научно-практическая конференция «Север и Арктика в новой парадигме мирового развития. Лузинские чтения-2012».

ИЭПКНЦ РАН, 12–15 апреля 2012 г.

Организаторы конференции:

- Институт экономических проблем им. Г.П. Лузина Кольского научного центра Российской академии наук;
- Филиал Санкт-Петербургского государственного инженерно-экономического университета в г. Апатиты;
- Правительство Мурманской области.

В конференции приняли участие более 150 ученых и специалистов Российской Федерации, Норвегии, Финляндии, Швеции, Украины, Казахстана, руководители и представители областного правительства и муниципальной администрации, специалисты ведущих отраслей области.

Конференция посвящена фундаментальным и прикладным аспектам развития северного и арктического пространства России в контексте повышения значения этих территорий, обладающих уникальным геополитическим, природно-ресурсным и социально-экономическим потенциалом и являющихся зоной стратегических интересов России.

Основная цель конференции состоит в том, чтобы на основе всестороннего обсуждения, обобщения национального и международного опыта развития северных территорий и сообществ сформировать научное и практическое видение будущего Севера и Арктики России.

На конференции проведены пленарные заседания, параллельные секций и круглые столы по следующим направлениям.

- I. Глобальные процессы и проблемы Арктики в условиях роста экономической нестабильности.
- II. Экономика рационального природопользования и охрана окружающей среды.
- III. Социальное развитие регионов Севера и Арктики: проблемы и стратегические приоритеты.
- IV. Инновационное развитие экономики Севера.
- V. Регионы и муниципалитеты Севера России: тенденции, стратегии, перспективы социально-экономического развития.
- VI. Тенденции государственной и корпоративной финансовой политики в современных экономических условиях.

Аннотированный экологический каталог озер Мурманской области: юго-восточная часть (бассейн Белого моря): в 2 ч. / Н.А. Кашулин, С.С. Сандимиров, В.А. Даувальтер, Л.П. Кудрявцева, П.М. Терентьев, Д.Б. Денисов, О.И. Вандыш, С.А. Валькова. Апатиты: Изд. КНЦ РАН, 2012. Ч. 1. 221 с.; Ч. 2. 235 с.

Дана систематизированная экологическая характеристика озер Евро-Арктического региона. Приведены основные гидрографические, морфометрические, гидрохимические и гидробиологические характеристики 210 водоемов на водосборах рек Белого моря, дающие представление об озерном фонде восточной и юго-восточной частях Мурманской области. По каждому водоему дана следующая информация: название реки, вытекающей из озера или протекающей через озеро, координаты водоема, высотные отметки водоема, площадь озера и его водосборной территории, наибольшая длина и ширина, период исследований, гидрохимическая характеристика вод и донных отложений, а также оценка и состояние основных биологических сообществ (фитопланктон, зоопланктон, бентос, ихтиофауна).

Каталог предназначен для специалистов в области изучения пресноводных экосистем, лиц, осуществляющих хозяйственную деятельность на территории восточной части Мурманской области, учащихся учебных заведений, природоохранных, служб.

Виноградова С.Н. Коренные малочисленные народы Севера: социально-экономические аспекты государственной политики. Апатиты: Изд. КНЦ РАН, 2012. 139 с.

Представлены результаты многолетней работы, направленной на решение научной проблемы разработки теоретических и методических основ формирования государственной политики в отношении коренных малочисленных народов Севера. На примере Мурманской области, одного из наиболее индустриально развитых и освоенных регионов Севера России, показано, с какими вызовами сталкиваются в настоящее время коренные народы, и предложены пути решения ключевых проблем.

Дан анализ социально-экономического положения Кольских саами, рассматривается не только ситуация в регионе, но и международный опыт регулирования положения коренных народов Севера и степень реализации на региональном уровне основных принципов и норм, выработанных мировым сообществом в отношении аборигенных народов. В связи с чрезвычайным обострением проблемы безработицы среди коренного населения особое внимание уделено анализу положения Кольских саами на региональном рынке труда. Разработаны предложения по совершенствованию государственной политики РФ в отношении коренных малочисленных народов Севера, в том числе предложено формировать данную политику на принципах социально-экономического партнерства коренных сообществ, государства и бизнеса. Обосновано, что в качестве основного механизма реализации такой политики необходимо развивать институциональную среду, обеспечивающую реализацию интересов коренных народов. На основе общих принципов и подходов разработана система конкретных мер регионального уровня, а также механизмы контроля над их исполнением.

Каган Л.Я. Диатомовые водоросли Евро-Арктического региона: аннотированная коллекция (древние и современные морские и пресноводные). Апатиты: Изд. КНЦ РАН, 2012. 209 с.

В коллекции впервые представлено систематизированное описание диатомовых комплексов из донных отложений древних и современных разнотипных водных объектов Евро-Арктического региона. Реконструированы основные этапы изменения окружающей природной среды и климата в историческом прошлом и составлено заключение диатомового анализа для 100 объектов, дающее представление о долговременных процессах трансформации морских и пресноводных экосистем. Каталогизированная опись исследованных объектов включает следующую информацию: номер точки отбора; лабораторный номер постоянных диатомовых препаратов; экологические характеристики обнаруженных таксонов диатомей, содержащихся в данной единице коллекции; номер обнажения, станции, колонки, точки наблюдения; автора и организацию, предоставившую пробы; дату отбора; географическую привязку (подробный адрес); генезис и возраст осадков, литологию, мощность колонки, разреза; основные результаты диатомового анализа; печатные работы, где опубликованы данные результаты; рекомендуемую литературу по проблеме данного исследования. Каждому объекту соответствует набор постоянных диатомовых препаратов, находящихся на постоянном

хранении в Учреждении РАН Институте проблем промышленной экологии Севера КНЦ РАН. Коллекция содержит таксономические списки таксонов диатомей, а также оригинальные микрофотографии типичных представителей.

Коллекция предназначена для диатомологов, геологов, альгологов, специалистов в области изучения пресноводных экосистем, лиц, осуществляющих хозяйственную деятельность на территории Евро-Арктического региона, учащихся учебных заведений, природоохранных служб.

Квартер во всем его многообразии. Фундаментальные проблемы, итоги изучения и основные направления дальнейших исследований: материалы VII Всероссийского совещания по изучению четвертичного периода. г. Апатиты, 12–17 сентября, 2011 г.: в 2 т. / Рос. акад. наук, Отд. наук о Земле, Комиссия по изуч. четвертич. периода, Геологический ин-т КНЦ РАН ; отв. ред. О.П. Корсакова и В.В. Колька. Апатиты; СПб., 2011. Т. 1 (А–К). 320 с.; Т. 2 (Л–Я). 352 с.

Двухтомный сборник содержит материалы VII Всероссийского совещания по изучению четвертичного периода «Квартер во всем его многообразии. Фундаментальные проблемы, итоги изучения и основные направления дальнейших исследований». Представлены результаты исследований по теоретическим и практическим вопросам стратиграфии, геохронологии и палеогеографии четвертичного периода, палеонтологического выделения биоценозов, геохронологической и стратиграфической корреляции биот, экологии, четвертичной геоморфологии и неотектоники. Значительное внимание уделено вопросам седиментологии, генетическим типам четвертичных отложений, полезным ископаемым, обсуждаются геологическая история древнего человека, природные и антропогенные катастрофы.

Сборник представляет интерес для широкого круга специалистов, изучающих события четвертичного периода.

Костюк В.И. Экология культурных растений на Кольском Севере. Апатиты: Изд. КНЦ РАН, 2012 169 с.

Рассматривается влияние световых и гидротермических условий Заполярья на продуктивность выращиваемых здесь культурных растений. Анализируются особенности продукционного процесса культивируемых в зависимости от агротехники их возделывания и метеорологических условий в период вегетации. Описывается технология подбора рациональных доз удобрений для корневого питания однолетних трав и картофеля с использованием методов планирования активных экспериментов и многокритериальной статистической оптимизации. Приводится оценка влияния минеральных удобрений на фотосинтетический сток атмосферного углерода в агрофитоценозы овса. Значительное место в работе уделено количественному анализу специфики межвидовой конкуренции в фитоценозах многолетних трав, определению типов их жизненных стратегий, а также вопросам их продуктивности и зимостойкости. Дается экспериментальное и теоретическое обоснование климатически обеспеченной и потенциальной урожайности картофеля на Кольском Севере.

Книга рассчитана на экологов, физиологов, агрохимиков, растениеводов, преподавателей, аспирантов и студентов вузов.

Мазухина С.И. Формирование поверхностных и подземных вод Хибинского горного массива / отв. ред. В.А. Маслобоев. Апатиты: Изд. КНЦ РАН, 2012. 173 с.

Монография посвящена вопросам решения экологических проблем природных и техногенных объектов Кольского Севера методом термодинамического моделирования. На основе этого метода можно моделировать процессы формирования природных вод, их загрязнения под воздействием стоков горнопромышленного производства, восстановления экологических катастроф, а также исследовать процессы в техногенных объектах (хвостохранилищах), оценивать их влияние на поверхностные и подземные воды.

Рассмотрены модели новых технологий снижения влияния стоков на окружающую среду и формирования техногенных руд с использованием геохимических барьеров.

Издание может быть полезно для специалистов в различных областях применения компьютерных методов для решения задач химической термодинамики: геохимии, экологии, химической технологии, гидрологии и других, а также для аспирантов указанных специальностей.

Переверзев В.Н., Литвинова Т.И. Гидроморфизм и почвообразование на Кольском Севере. Апатиты: Изд. КНЦ РАН, 2012. 94 с.

Сложное орографическое устройство территории Кольского полуострова обусловило большое разнообразие и контрастность условий увлажнения почвенно-грунтовой толщи, определяющих структуру растительного и почвенного покровов. Методологической основой проведенных исследований послужил ландшафтный подход, учитывающий единство растительного и почвенного покровов на данной территории и зависимость их формирования от орографических и гидрологических условий. Путем проведения режимных наблюдений выявлено соотношение окислительных и восстановительных процессов и их роль в формировании профиля доминирующих на территории региона альфегумусовых почв на песчаных породах разного генезиса.

Переверзев В.Н. Почвы побережий фьордов острова Западный Шпицберген / Полярно-альпийский ботанический сад-институт им. Н.А. Аврорина Кольского научного центра РАН. Апатиты: Изд. КНЦ РАН, 2012. 122 с.

В монографии обобщены результаты детального изучения почв побережий фьордов острова Западный Шпицберген, сформировавшихся на разных почвообразующих породах и занимающих разные геоморфологические позиции на морских и коренных террасах. Показано, что в пределах естественного варьирования состава и свойств почв основу почвенного покрова территории составляют серогумусовые (дерновые) почвы, дополняемые почвами других типов – криотурбированных и слаборазвитых. Основные генетические характеристики серогумусовых почв: отсутствие профильной дифференциации химического состава, в том числе аморфных соединений Al и Fe, значительная гумусированность минерального профиля с максимумом содержания гумуса в дерновом горизонте АУ, гуматно-фульватный состав гумуса по всему профилю.

Север и Арктика в новой парадигме мирового развития. Лузинские чтения-2012: тез. докл. VI Международной научно-практической конференции, г. Апатиты, 12–14 апреля 2012 г. Апатиты: Изд. КНЦ РАН, 2012. 131 с.

Конференция посвящена фундаментальным и прикладным аспектам развития северного и арктического пространства России в контексте повышения значения этих территорий, обусловленное тем, что они являются зоной стратегических интересов России, так как обладают уникальным геополитическим, природно-ресурсным и социально-экономическим потенциалом.

Возросшая роль и значение Севера и Арктики для развития экономики России требует формирования новых научно обоснованных методов управления развитием этих регионов, учитывающих изменения в мировом и национальном пространстве, вызванных глобализацией и формированием «новой экономики».

Основная цель конференции состоит в том, чтобы на основе всестороннего обсуждения, обобщения национального и международного опыта развития северных сообществ определить научное и практическое видение будущего развития Севера и Арктики России.

Специфика учета и управления ресурсами и затратами в комбинированных горнопромышленных производствах / Ф.Д. Ларичкин, А.Г. Воробьев, Ю.Т. Глушенко, Т.А. Блошенко, Т.А. Ковырзина. Апатиты: Изд. КНЦ РАН, 2012. 285 с.

Показаны современное состояние, потенциальные возможности и значение развития комбинированной многопродуктовой переработки многокомпонентного минерального сырья для повышения эффективности российской экономики. Рассмотрены эволюция и современные точки зрения отечественных и зарубежных ученых и специалистов по наиболее важным теоретическим и прикладным вопросам учета, калькулирования и управления ресурсами и затратами на горнопромышленных предприятиях при комбинированной глубокой комплексной переработке многокомпонентного минерального сырья в рыночных условиях. Выявлены специфические особенности и закономерности формирования совокупных издержек комбинированного производства и дифференцированных прямых и косвенных затрат на производство каждого из вырабатываемых из многокомпонентного сырья продуктов. На этой основе, с использованием междисциплинарного подхода, дан критический анализ, показаны недостатки известных традиционных подходов и методов, обоснована наиболее рациональная методика калькулирования индивидуальной себестоимости каждого без исключения основного и сопутствующего ценного компонента (продукта) комбинированного многопродуктового горнопромышленного производства. Обоснована

необходимость совершенствования методологии учета, калькулирования, управления ресурсами и затратами на отечественных горнопромышленных предприятиях с использованием передовой зарубежной практики, международных стандартов финансовой отчетности и информационных технологий на основе внедрения ERP-систем (Enterprise Resource Planning Sistem).

Для специалистов научно-исследовательских, проектных организаций и промышленных предприятий минерально-сырьевого комплекса, а также студентов вузов геологического, горного, химико-металлургического и экономического профиля.

Чувардинский В.Г. Четвертичный период. Новая геологическая концепция. Апатиты: Изд. КНЦ РАН. 2012. 179 с.

Предлагаются новые решения ряда фундаментальных вопросов четвертичного периода. На основании многолетних исследований автора на Балтийском щите доказывается разломно-тектоническое происхождение «ледниково-экзарационного» рельефа – от бараньих лбов до фиордов. Раскрывается разломно-складчатый механизм формирования «аккумулятивно-ледниковых» форм рельефа на Балтийском щите и на Русской равнине.

Автором разработана принципиально новая методика валунных поисков рудных месторождений.

Анализ литературных данных по сквозному разбуриванию ледниковых покровов Гренландии и Антарктиды показывает, что материковые льды не содержат глыб и валунов, в них отмечаются лишь включения пылевидного вещества, в основном вулканического пепла. Нижние слои льдов не принимают участия в общем движении ледников и консервируют свое ложе.

Имеющиеся материалы по палеогеографии четвертичного периода показывают, что в основу ледниковой теории изначально были положены ошибочные критерии и эта теория должна быть пересмотрена.

Для объяснения механизма формирования валунных отложений и «ледниковых» форм рельефа следует привлекать реально существующие геологические процессы, в первую очередь разломно-тектонические.

Книга рассчитана на геологов, геоморфологов, географов, на широкого читателя.

Экология морских птиц Белого моря / [отв. ред. Г.Г. Матишов]; Мурман. мор. биол. ин-т Кольского науч. центра РАН. Апатиты: Изд. КНЦ РАН, 2012. 181 с.

В сборник вошли статьи, посвященные различным аспектам экологии морских птиц Белого моря. Рассматриваются особенности размещения и численность морских и водоплавающих птиц на акватории различных районов Белого моря: Кандалакшского и Онежского заливов, Бассейна, Горла и Воронки. Представлены данные сравнительного анализа орнитофауны северных районов Белого и южной части Баренцева морей. Обсуждается современное состояние орнитофаун прибрежных районов Терского берега и островов Онежского залива. Приведены данные анализа состава кормов обыкновенной гаги в различных районах ее ареала в Белом море, сезонная и географическая изменчивость питания.

Сборник рассчитан на специалистов в области зоологии, экологии, гидробиологии и сотрудников природоохранных организаций.



НАУМОВ Вадим Алексеевич

к.ф.-м.н (1963), с.н.с. (1965). В Кольском научном центре РАН работает с 1982 года: сначала заведующим лабораторией атомной энергетики Отдела энергетики, а с 1988 года – заведующим сектором физико-технических проблем подземных объектов атомной энергетики Горного института. В настоящее время ведущий научный сотрудник.

Специалист в области разработки атомных реакторов, ядерной и радиационной безопасности. После окончания МИФИ (1955 г.) в Физико-энергетическом институте Министерства среднего машиностроения (в настоящее время Росатом) занимался вопросами физики ядерных реакторных установок и защиты от излучений, участвовал в разработке новых транспортных реакторов для атомного флота СССР. С 1961 года в качестве одного из основателей Института ядерной энергетики (ИЯЭ) Академии наук БССР возглавил Отдел физики ядерных реакторов и лабораторию расчета ядерных реакторов, занимавшихся разработкой принципиально новых типов газо-охлаждаемых ядерных реакторов. Для расчетных исследований физики ядерных реакторов на тепловых и быстрых нейтронах были созданы такие комплексы математических программ для ЭВМ, как ГЕРА, КРАТЕР и другие. Под руководством Наумова А.В. была создана теоретическая база по исследованию физики быстрых ядерных реакторов на четырехокиси азота, а также экспериментальные стенды с критическими сборками, с его участием были выполнены комплексные исследования по внедрению достижений реакторных технологий в народное хозяйство, от медицины до сельского хозяйства. По заданию Министерства среднего машиностроения в начале восьмидесятых годов в ИЯЭ был создан действующий прототип транспортного ядерного реактора Памир, разработан проект атомной электростанции Бриг-300.

Научная и организационная деятельность В.А. Наумова в КНЦ РАН связана с решением актуальных проблем повышения безопасности атомной энергетики за счет подземного размещения реакторных установок, обоснования концепции подземного размещения ядерных и радиационно опасных объектов в геологических формациях европейского Севера России. В качестве научного эксперта он участвует в выполнении международных проектов, направленных на решение проблемы ядерной и радиационной безопасности на европейском Севере России. В составе авторского коллектива (Горный институт, ВНИПИЭТ, ИПЭ АН Беларуси, Минатом РФ) участвовал в разработке проекта «Монолит», который был признан призером Международного конкурса проектов и технических решений по преобразованию объекта «Укрытие» Чернобыльской АЭС в экологически безопасную систему. Автор более 300 научных трудов, в том числе 9 монографий. Под его руководством 7 аспирантов защитили диссертации по техническим и физико-математическим наукам. С 1994 г. он академик Международной



Юбилары



Юбилеи

академии наук экологии и безопасности жизнедеятельности. Награжден Почетной грамотой Верховного Совета Белоруссии за подготовку научных кадров высшей квалификации, отмечен знаком «Трудовая слава III степени», Почетными грамотами РАН и Кольского научного центра РАН. Наряду с высокой научной квалификацией и исключительно широкой эрудицией его характеризует принципиальность, ответственность и порядочность, как в научной деятельности, так и в отношениях с коллегами по работе и этонискало ему заслуженное уважение в коллективе Горного института и всего Кольского научного центра. Любит природу, деятельный отдых, является активным дачником и путешественником. Часто участвует и нередко побеждает в соревнованиях Кольского научного центра по шахматам.

В день знаменательного юбилея коллеги по работе желают Вадиму Алексеичу крепкого здоровья, благополучия и дальнейших творческих успехов.

60



КОЗЛОВ Николай Евгеньевич

д.г.-м.н., заведующий Лабораторией геологии и геодинамики Арктики ГИ КНЦ РАН, академик РАЕН.

В Геологический институт поступил сразу же после окончания геологического факультета Ленинградского государственного университета в 1974 г., закончил аспирантуру, в 1980 г. защитил кандидатскую диссертацию, а в 1996 – докторскую.

Основные научные интересы связаны с изучением древнейших архейских породных комплексов северо-востока Балтийского щита. Его оригинальные исследования геологии и вещественного состава гранулитовых поясов вносят существенный вклад в решение фундаментальной проблемы, связанной с изучением строения, состава и эволюции этих специфических зон Земли. Участвовал в составлении геологической карты масштаба 1:200000, геологической интерпретации геофизических исследований МОГТ и составлении геологической карты (масштаба 1:500000) Лапландского гранулитового пояса (ЛГП). В своих исследованиях Н.Е. Козлов установил, что базальты фанерозойских структур, формирующихся на континентальной и океанической коре, имеют ряд системных различий, свидетельствующих об их отличии вне зависимости от геодинамических условий формирования. Приложение этих закономерностей к докембрию показало, что краевые комплексы древнейшей коры Северо-Атлантического региона характеризуются тенденциями, свойственными зонам перехода океанических структур к континентальным. Под руководством Николая Евгеньевича успешно развивается такое направление, как моделирование условий формирования и эволюции докембрийских геосистем на основе изучения геологии и вещественного состава слагающих их породных ассоциаций. Н.Е. Козлов являлся одним из координаторов проекта № 408 МПГК ЮНЕСКО, в рамках которого возглавлял крупную научную тему "Сравнение состава, структуры и физических свойств пород и минералов в Кольской сверхглубокой скважине и их гомологов на

поверхности". Участвовал в совместных исследованиях с геологическими службами Северной Норвегии и Северной Финляндии. Его работы были отмечены в числе наиболее важных итогов исследований по проекту № 275 МПГК ЮНЕСКО. Николай Евгеньевич был удостоен Государственной научной стипендии для выдающихся ученых России (2000–2002). Автор около 200 научных работ, в т.ч. двух авторских свидетельств на изобретения, учебных пособий и шести монографий. Научную работу Николай Евгеньевич Козлов успешно сочетает с педагогической и организационной деятельностью, являясь директором АФ МГТУ и профессором кафедры ГиПИ. Н.Е. Козлов – член ученых советов Ги КНЦ РАН и МГТУ, научно-координационных советов при Президиуме КНЦ по проблемам оценки и рационального использования ресурсного потенциала Евро-Арктического региона и проблемам социально-экономического комплекса Баренц-региона. Он награжден медалью ордена "За заслуги перед Отечеством" II степени (2006), медалью "За трудовое отличие", почетными грамотами РАН, Мурманской областной думы и КНЦ.



Юбилары



СКОРОХОДОВ Владимир Федорович

д.т.н. (2003). В Горном институте КНЦ РАН работает с 1971 года, с 2005 г. – заведующий лабораторией новых обогатительных процессов и аппаратов.

Специалист в области обогащения полезных ископаемых, научные интересы связаны с исследованиями процессов разделения минералов, гидродинамики многофазных потоков. Предложенные им режимы обогащения руд с комбинацией флотационных машин различных типов позволяют упростить технологию получения нескольких сортов апатитового концентратов с максимальным извлечением полезного компонента из всех классов крупности перерабатываемой руды. Внедренная технология получения нефелинового концентрата, в основу которой положен запатентованный способ подготовки и дозирования флотационных реагентов в рабочие камеры флотационных машин, позволяет существенно сократить расход реагентов, упростить аппаратную схему для реализации флотационного процесса. При выполнении работ широко используется специальный комплекс математических моделей и программных средств моделирования процессов разделения минерального сырья. Сочетание физического и компьютерного моделирования обеспечивает сокращение временных и материальных затрат при проведении исследований по синтезу или выбору эффективных способов и схем переработки различных типов руд. В числе выполненных работ последнего времени 3 проекта РФФИ, проект по программе фундаментальных исследований Президиума РАН. Автор более 200 работ, 5 авторских свидетельств, 11 патентов. С 2004 года – профессор Горного факультета КФ ПетрГУ и АФ МГТУ, читает курсы лекций по дисциплинам «Флотационные методы обогащения», «Проектирование обогатительных фабрик», «Основы обогащения полезных ископаемых».

Награжден знаками «Горняцкая Слава» II и III степени, знаком «Трудовая Слава III степени», отмечен почетной грамотой Российской академии наук, избран действительным членом Международной академии минеральных ресурсов.

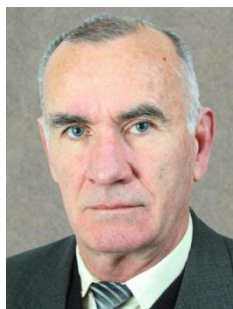


13 апреля 2012 г. ушел из жизни

ОЛЕГ АНДРЕЕВИЧ БЕЛЯЕВ

Олег Андреевич родился в Ленинграде в 1939 г., в 1957 г. поступил на геологический факультет Ленинградского государственного университета, закончил его в 1962 г. по специальности «Геология и поиски месторождений радиоактивных элементов» и поступил в аспирантуру при ЛГУ, где также вел преподавательскую работу. По окончании аспирантуры в 1967 г. он был приглашен на работу в Геологический институт Кольского филиала АН СССР в лабораторию региональной геологии и тектоники на должность младшего научного сотрудника. В 1976 году Олег Андреевич защитил кандидатскую диссертацию на тему «Геология и метаморфизм докембрийских комплексов северо-запада Кольского полуострова», в 1982 г. был переведен на должность старшего научного сотрудника. За годы работы в ГИ Олег Андреевич Беляев стал выдающимся специалистом в области геологии, петрологии, геохимии и металлогении докембрийских метаморфических комплексов. Он изучал геологию и метаморфизм архейских и раннепротерозойских структур восточной части Балтийского щита, установил блоково-зональное строение метаморфической структуры региона, обусловленное пространственно неоднородной активностью четырех тектономагматических циклов: ранне- и позднелопийского, сумийского и свекофеннского. В своих работах О.А. Беляев разрабатывал общие вопросы метаморфизма, связанные, прежде всего, с проблемами цикличности и периодизации регионального метаморфизма, его геотектонического и термодинамического режимов. Результаты многолетних исследований закономерностей пространственного и временного развития процессов метаморфизма нашли отражение в геологических картах Кольского региона (1980-1996) и целом ряде метаморфических карт Кольского полуострова (1977 г.) восточной части Балтийского щита (1980, 1992, 2000 гг.), СССР (1974 г.) и Европы (1973 г.). О.А. Беляев исследовал рудогенерирующую роль процессов метаморфизма на примере железорудной формации и установил ведущую роль этих процессов в формировании главных особенностей железных руд докембрия Кольского полуострова, их качества и технологических свойств. Работы последних лет были связаны с вопросами корреляции этапности и РТ-условий метаморфизма в структурных зонах с различным геодинамическим режимом, проблемами природы давления в зонах деформаций и потенциальной золотоносностью сдвиговых зон. Неутомимый исследователь, Олег Андреевич изучал историю эндогенного развития различных частей Кольского полуострова – Центрально-Кольский блок, зону Колмозеро-Воронья, Кейвский террейн, Лапландский гранулитовый пояс, его южное обрамление и другие территории. Олег Андреевич Беляев – автор более 150 научных работ.

В 2007 г. Олег Андреевич вышел на пенсию. В последние годы он мужественно боролся с тяжелым заболеванием. Олег Андреевич очень любил Кольский север, путешествия в труднодоступные районы, был замечательным охотником и рыбаком, прекрасным фотографом, любителем природы, интересным, талантливым человеком. Таким его запомнят сотрудники Геологического института.



22 апреля 2012 г. ушел из жизни

ВИКТОР ИВАНОВИЧ ЗАХАРОВ

В.И. Захаров работал в Институте химии Кольского научного центра РАН с 1963 года (с двухгодичным перерывом в работе с конца 1963 по 1965 гг., связанным со службой в рядах Советской армии). За этот период он сложился как научный лидер и известный специалист в области химии и технологии минерального сырья. Область основных научных интересов – химико-технологическое обоснование и разработка новых технологических направлений комплексной переработки многокомпонентного минерального сырья (нефелинов, сынныритов, рисчорритов, эвдиалитов, лопарита, отходов горнодобывающих и металлургических производств и др.) с получением глинозема, солей алюминия и щелочных элементов, силикатных продуктов, редких и редкоземельных элементов, циркония, титана, минеральных удобрений, реагентов для очистки воды, компонентов простейших взрывчатых веществ (ВВ) для горнодобывающей промышленности и др. Большинство разработанных под руководством В.И. Захарова технологических процессов прошло полный цикл физико-химических и экспериментальных исследований, опытных, опытно-промышленных и промышленных испытаний. На ОАО "Апатит", "Олкон", "Карельский окатыш" и других предприятиях в промышленном масштабе

внедрены технологии производства алюмокремниевое коагулянт-флокулянта; закрепления пылящих поверхностей хвостохранилищ обогатительных фабрик; получения компонентов и производства на их основе простейших взрывчатых веществ. Ежегодный экономический эффект от внедрения научных разработок В.И. Захарова оценивается во многие десятки миллионов рублей. Разработанные под руководством В.И. Захарова новые технологии крупнотоннажной переработки нефелина, эвдиалита и других видов минерального сырья являются потенциальной базой для развития горно-химического комплекса Мурманской области. В.И. Захаров участвовал в подготовке студентов-химиков Мурманского государственного технического университета. Под его руководством защищена докторская и ряд кандидатских диссертаций. Им опубликовано более 300 научных работ, в том числе три монографии и 65 авторских свидетельств и патентов на изобретение. В 1998 г. за разработку и внедрение технологии ведения горных работ с использованием взрывчатых веществ на основе продуктов комплексной переработки минерального сырья В.И. Захаров был удостоен премии Правительства РФ. В 2000 г. за цикл работ "Теоретические основы комплексной переработки нетрадиционного титано-редкометалльного сырья и алюминийсодержащего сырья" удостоен Государственной премии РФ в области науки и технологии. Он награжден Орденом "Знак почета" и рядом медалей, научные разработки В.И. Захарова отмечены 5 серебряными и 3 бронзовыми медалями ВДНХ. В.И. Захаров являлся членом общего собрания ученых КНЦ РАН, Ученого совета Института химии, диссертационного совета Д002.105.01, академиком международной академии экологии и безопасности жизнедеятельности (МАНЭБ), членом редколлегии Горного журнала. Мы знали Виктора Ивановича не только как ученого, исследователя и организатора, но и как доступного в общении, доброжелательного, обаятельного, неординарного, принципиального человека, пользовавшегося любовью и уважением у окружающих его людей. Это был человек, любивший жизнь, свою большую замечательную семью и отдавший всего себя работе.

Светлая и добрая память о Викторе Ивановиче останется в сердцах всех, кто имел счастье работать и общаться с ним.



4 мая 2012 г. ушел из жизни

ВЛАДИМИР НИКОЛАЕВИЧ ПЕРЕВЕРЗЕВ

55 лет своей трудовой жизни Владимир Николаевич посвятил Полярно-альпийскому ботаническому саду-институту, из которых 44 года являлся руководителем лаборатории почвоведения, идейным вдохновителем и главным организатором почвенных исследований.

Владимир Николаевич внес неоценимый вклад в изучение процессов почвообразования на Крайнем Севере. Под его руководством почвенные исследования ПАБСИ получили значительное развитие и международное признание, а их результаты уже давно заняли достойное место в теоретическом

фундаменте регионального, отечественного и мирового почвоведения.

На протяжении всей своей жизни Владимир Николаевич придавал большое значение практическим проблемам сельского хозяйства на Крайнем Севере. Им была разработана концепция формирования почвенного плодородия в суровых заполярных условиях, послужившая основой для создания системы эффективного использования органических и минеральных удобрений на Кольском полуострове.

Владимир Николаевич был одним из пионеров работ по рекультивации техногенно-нарушенных земель методами биологического закрепления пылящих поверхностей промышленных отвалов в Мурманской области, впоследствии продолженных не только в ПАБСИ, но и в других институтах Кольского научного центра.

Заслуги Владимира Николаевича по достоинству оценены научным сообществом и государством. В 1991 году В.Н. Переверзеву было присуждено звание профессора, а в 2006 – Заслуженного работника сельского хозяйства РФ. Вклад Владимира Николаевича в развитие науки отмечен государственными наградами: медалями "За трудовое отличие", "За освоение целинных земель", Государственными научными стипендиями (1994, 2000), Почетными грамотами и Благодарностями Губернатора Мурманской области (2000, 2001, 2011).

Благодаря доброжелательному, чуткому отношению к людям, высоким моральным качествам и постоянной готовности прийти на помощь, Владимир Николаевич снискал высокий авторитет, уважение и любовь не только своих коллег, но и коллектива всего Кольского научного центра.

Yu.A. Balashov

**VARIATIONS OF OXYGEN VOLATILITY IN MANTLE AND CRUSTAL SYSTEMS
IN THE HADEAN-PROTEROZOIC INTERVAL**

Variations of oxygen volatility in the vertical section of the lithosphere divide it into the lower zone with a reducing regime of oxygen and the upper oxidized zone that includes mantle and crustal components. But geochronologically they differ by the oxidation level. One is the most ancient in the range of Hadean – Proterozoic, the other is younger Phanerozoic within which an excess of oxygen is predominating. This fact is directly related to the biosphere evolution in geological time.

Keywords: lithosphere, rocks of core and mantle, rare earth elements –ratios Ce⁺⁴/Ce⁺³ in zircons as indicator of oxygen fugacity in the Earth upper covers.

Yu.A. Balashov

**GEOCHRONOLOGICAL RELATION OF MANTLE PROCESSES
OF THE EARTH'S HOMOGENIZATION AND DIFFERENTIATION**

The problems of the initial composition and evolution of the mantle and crust in geological time are poorly studied, since the generation of all the Earth's shells and core are considered without taking into account the main processes - the combination of homogenization and differentiation of the initial meteorite diversity which formed the Earth. The article attempts a more rigorous account of influence of the heterogeneous composition of meteorites. Two types of mantle processes have been found: early (Archaean-Proterozoic) with traces of intensive homogenization and late (mainly Phanerozoic) with signs of intense secondary differentiation.

Keywords: komatiites and basalts of greenstone belts, alkaline series and ophiolites, rare earth elements - Sm/Nd ratio –as indicator varies of rocks and meteorites.

V.V. Bystrov, Yu.O. Samoilov

SIMULATION TO PROBLEMS OF QUALITY MANAGEMENT OF HIGH SCHOOL EDUCATION

This article contains some theoretical and practical results of education quality management research of Institute of Informatics and mathematical modeling of Kola Scientific centre. It is offered to use powerful features of imitating modeling to create information technologies and instrumentations of education quality control. The article considers the particularity of agent approach of separate college educational process modeling. It adduces the description of practical realization of separate model elements with the abilities of Anylogic developers environment.

Keywords: informational technology, quality, education, simulation, agents.

A.G. Dvoretzky, V.G. Dvoretzky

**BIOLOGICAL ASPECTS OF THE AMPHIPOD *ISCHYROCERUS COMMENSALIS*, A SYMBIONT
OF RED KING CRAB IN SAYDA BAY (BARENTS SEA)**

Some aspects of the biology of the amphipod *Ischyrocerus commensalis*, a common symbiont of red king crab, were studied in Sayda Bay (Barents Sea). The prevalence of infestation was 10.9% in September, 2004 and 8.7% in May–June 2005. Mean intensity was 17.1 specimens in September and 4.1 specimens in May–June. Female amphipods were the most abundant than males. In September, the majority of symbionts were juveniles with body length lower than 2 mm (30.6%). In May–June, the main part of population was dominated by adult specimens with body length 6.1–7.0 mm (24.7%) and 8.1–9.0 mm (29.9%). In September 2004, in the breeding season, egg-bearing females were the most abundant while in May–June 2005 the females at later developmental stages were absent. These differences are associated with seasonality in the symbiont reproduction. Individual absolute fecundity was counted to be 14–63 (mean 26±13) eggs in September and 4–49 (25±10) eggs in May–June. A linear relationship between individual fecundity and body length of *I. commensalis* female was found.

Keywords: red king crab, symbiotic amphipods, Barents Sea.

V.G. Dvoretzky, A.G. Dvoretzky

COPEPOD DISTRIBUTION IN THE COASTAL ZONE OF THE BARENTS SEA, SPRING 2007

Spatial distribution of the copepods in southern part of the Barents Sea was investigated during the spring period 2007. A total of 19 copepod species were documented, their abundance and biomass varied from 635 to 1815 ind m⁻³ (55–75% of the total mesozooplankton abundance) and from 49 to 151 mg wet mass m⁻³ (39–91%). Copepoda nauplii (136–753 ind. m⁻³) prevailed in term of total abundance but *Calanus finmarchicus* predominated the biomass (29–129 mg m⁻³, 65–85%). Zoogeographical and ecological compositions of copepod community were analyzed. Herbivorous species prevailed the trophic structure (87% of total copepod biomass). Biodiversity of copepod community was 1.52–2.17 bit ind⁻¹. Increased quantity of the copepod species was due to anomalous warm conditions of period studied.

Keywords: zooplankton, copepods, Barents Sea.

A.I. Kalashnik, S.V. Kazachkov, V.A. Soharev, D.V. Zaporjets, A.Yu. Dyakov

RESEARCHES OF MINING DESIGNS OF AN OPEN-CAST MINE

BY GEORADAR TECHNOLOGIES

For the decision of a problem of maintenance of stability of the mining designs, playing major role in questions of efficiency and safety of working out of mineral deposits, georadar technologies have been used. The special technique of carrying out has been developed for these purposes field and calculate works. It has allowed to receive the information (new knowledge) on a current condition and structure of mining designs of one of deep ore open-cast mines of Kola peninsula. In work are resulted received radarogramms with interpretation and the analysis of the received data on localisation geological structures and zones of tectonic infringements. Features of a condition of the file, consisting in formation subparallel to the general contour of career dredging of zones by capacity to 4–5 m, 10–20 m and 20–60 m caused in various parametres of an is intense-deformed condition, fracturing and fluiding are revealed. The revealed features develop modern representations about a condition of files of breeds in a vicinity of career dredging and give possibility for the forecast of stability both separate ledges, and sites of a board of an open-cast mine, and a substantiation of parametres of conducting the mountain works providing their higher safety and efficiency.

Keywords: georadar, technologies, a technique, mining constructions, structure, a condition, dispositions, stability, safety.

N.E. Koroleva

**100 YEAR OF GEOBOTANICAL EXPLORATION OF MURMANSK REGION:
SOME RESULTS AND PERSPECTIVES**

History and progress of geobotany in Murmansk Region are surveyed, with attention to modern regional trends. Problems of practical application of modern geobotanical investigations are analyzed. Importance of regional development and teaching of geobotany on biological faculties is emphasized.

Keywords: geobotany, phytocoenology, vegetation science, ecological expertise, Kol'skaja encyclopedia, history of science, high school teaching, Murmansk Region.

N.E. Koroleva

**SØRØYA ISLAND (FINNMARK COUNTY, NORTHERN NORWAY) AS AN ARENA
OF INTERNATIONAL COOPERATION FOR ENVIRONMENTAL STUDY AND PROTECTION**

Plant communities' types of Sørøya Island (northern Norway) are surveyed as a base for environmental and ecological tours.

Keywords: Sørøya Island, northern Scandinavia, types of plant communities, mountain tundra, subarctic birch forest, meadows, wetlands, seashore vegetation, guide-books, ecological tourism.

E.D. Tereshchenko, A.E. Sidorenko and V.F. Grigoriev

**VARIATIONS OF THE ARTIFICIAL ELF ELECTROMAGNETIC FIELD OBSERVED
IN THE TRANSITION ZONE**

The results of the experiment to study the dynamics of the electromagnetic field of artificial source ELF-range during period of 30 days are presented. Variations of the field with periods of several hours to several days are found. Observations during the sidereal period of the Moon show that field variations are in-phase with the tidal deformations of the Earth's crust along a vertical axis. These variations have considerably higher amplitude than daily variations and may be associated with large-scale tidal processes occurring in the Earth's crust. Field variations with periods of less than a day are most likely caused by ionospheric processes.

Keywords: electromagnetic field, artificial source, extremely low frequency, field variations, impedance, tidal deformations, ionosphere.

E.D. Tereshchenko, V.A. Turyansky, R.Yu. Yurik

MODELING OF THE ALTITUDE-LATITUDINAL DISTRIBUTION VOLUME EMISSION RATE $O(^1D)$ BASED ON TOMOGRAPHIC RECONSTRUCTION OF ELECTRON DENSITY IN THE IONOSPHERE

In February and March 2009, coordinated ground-based optical and tomographic observations were carried out by the Polar Geophysical Institute (PGI). The objective of this campaign was in studying properties of the red emission nightglow by using experimental data of the electron density images obtained by the satellite radio tomography. An optimized model of the volume emission rate for the atomic oxygen from the $O(^1D)$ -state is formulated and used in the data analysis. A comparison has been made between the observed line 630-nm intensity, tomographic electron density images and model distributions of the appropriate parameters by applying the NRLMSISE-00 and IRI-2007 models during quiet and slightly disturbed heliogeophysical conditions which reveals the dominant role of the ionospheric electron density in formatting the medium intensity red emission. The electron gas temperature distributions have been obtained in the region covered by the main ionospheric trough and the auroral latitudes. The electron temperature distribution values derived with using the images of the electron density and the volume emission rate as well as with the 630-nm emission intensities observed at one of the sites are found to be in a good agreement with the satellite ESRO-4 data obtained during similar heliogeophysical conditions. The results show that the total electron content data collected by the permanently operating satellite receivers in common with the developed modeling of the volume emission rates make it possible to study the red emission features in a wide area covered by the radio tomography chain taking advantage of electron density images.

This work was supported by the RFBR (grant no. 06-05- 64540) and Ministry of Education and Science of the Russian Federation (GC no. 16.518.11.7100). The authors wish to thank B.Z. Khudukon for his help with data processing and figures preparations.

Keywords: ionosphere, electron temperature, atmospheric emissions, excitation processes.

E.D. Tereshchenko, R.Yu. Yurik, L. Baddeley

OBSERVATIONS OF THE STIMULATED ELECTROMAGNETIC EMISSION AT THE HIGH LATITUDES UNDER THE DIFFERENT MODES OF THE HEATING FACILITY

The results of the HF interferometer measurements of the stimulated electromagnetic emission at high latitudes are presented. Stimulated electromagnetic emissions are observed during heating experiments at the SPEAR heating facility in 2010 and in 2011. The results show that under shot pulse durations there are specific components of the ponderomotive spectrum, which indicates the absence of thermal effects of the artificial modification of ionosphere. Once the duration of the heating facility radiation grows up to 50% of the duty cycle, the observed spectra are transformed into stationary thermal spectra, indicating that the structuring of ionospheric plasma and artificial ionospheric irregularities play an important role in the generation of the SEE spectral components. The thermal forms of the SEE could be generated by the low duty cycle mode of the HF heating under the preconditioning of the ionospheric plasma by natural processes of the high latitude ionosphere. The interferometric measurements of the signal arriving angles show that steady-state features of the SEE spectrum generated in the different regions with "fast" features. Excitation time differences of stimulated electromagnetic emission at high latitudes may be caused by a low power of the heating facility SPEAR, as well as possible drift of plasma in an electric field of high-latitude convection.

This work was supported by the Ministry of Education and Science of the Russian Federation (GC no. 16.518.11.7100). L. Baddeley and the SPEAR heating facility are funded by the Norwegian Research Council, grant number 191628.

Keywords: ionosphere, stimulated electromagnetic emission, ionospheric modification experiment, heating facility, high-frequency interferometer.

A.Ya. Fridman, O.V. Fridman

MODELS AND TECHNIQUES TO COORDINATE DECISIONS IN CONTROL OF A REGIONAL INDUSTRY-NATURAL COMPLEX

Here we introduce results of a research in investigating performance of regional economic entities with consideration of their interactions and preferences. The research is aimed at support of compromised strategic decision making allowing for efficient usage of available resources to assure acceptable results for all or most involved decision makers.

Keywords: situational analysis and synthesis, conceptual subject domain model, coordinability of controlled systems.