

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
НАУКИ ИНСТИТУТ МОНИТОРИНГА КЛИМАТИЧЕСКИХ И
ЭКОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ СИБИРСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК**

**ОТЧЕТ
о НАУЧНОЙ и НАУЧНО-ОРГАНИЗАЦИОННОЙ
ДЕЯТЕЛЬНОСТИ за 2013 год**

Утверждаю
Директор института, д.ф.-м.н.

_____ В.А.Крутиков

СОДЕРЖАНИЕ

I	НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКАЯ РАБОТА	3
1.1	Научно-организационная деятельность ИМКЭС	3
1.2	Результаты научно-исследовательских работ	6
1.2.1	Краткие аннотации научно-исследовательских работ, выполненных по базовым проектам СО РАН	6
1.2.2	Краткая аннотация по проекту № 4.2 по программе РАН	108
1.2.3	Краткие аннотации по интеграционным проектам СО РАН	112
1.2.4	Краткие аннотации по грантам РФФИ	121
1.2.5	Отчет СЦ КЛИО	141
1.2.6	Информация по отчетам по экспедициям и стационарам	143
II	НАУЧНО-ОРГАНИЗАЦИОННАЯ РАБОТА	146
2.1	Деятельность Ученого совета	146
2.2	Кадры	147
2.3	Характеристика Международных научно-технических связей	151
2.4	Итоги научной деятельности	157
2.5	Официальное признание	163
III	ФИНАНСОВО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ	164
	ПРИЛОЖЕНИЕ	166
	Важнейшие достижения	167
	Список публикаций	181

I НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКАЯ РАБОТА
1.1. НАУЧНО-ОРГАНИЗАЦИОННАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ.

Программы, гранты	Научный руководи- тель, ответственный исполнитель
Программа Сибирского отделения РАН	
<p>Проект VIII.77.1.1. Пространственно-временные закономерности современных природно-климатических изменений на Азиатской территории России № гос. регистрации 01201353363</p>	<p>чл.-корр. РАН М.В.Кабанов, д.ф.-м.н. И.И.Ипполитов</p>
<p>Проект VIII.77.1.2. Погодно-климатические изменения в Сибири и Арктике в условиях усиления аэрозольных нагрузок № гос. регистрации 01201353356</p>	<p>чл.-корр. РАН В.В.Зуев.</p>
<p>Проект VIII.77.1.3. Экосистемные процессы в Сибири под воздействием природных факторов регионального и глобального уровня № гос. регистрации 01201353357</p>	<p>д.г.н. А.Г.Дюкарев</p>
<p>Проект VIII.77.1.4. Быстро развивающиеся геоморфологические процессы в ледниковой и внеледниковой зонах юга Западной Сибири, обусловленные природно-климатическими изменениями № гос. регистрации 01201353358</p>	<p>д.г.н. А.В.Поздняков, к.г.н. П.С.Бородавко</p>
<p>Проект VIII.80.1.2. Научные основы создания новых газо-аналитических приборов и методик их использования для мониторинга окружающей среды и специального контроля. № гос. регистрации 01201353361</p>	<p>д.т.н. А.А. Тихомиров</p>
<p>Проект VIII.80.2.1. Научно-методические основы создания вычислительно-информационной среды для региональных междисциплинарных климато-экологических исследований. № гос. регистрации 01201353983</p>	<p>д.ф.-м.н. Е.П.Гордов</p>
<p>Проект VIII.80.2.2. Научные основы создания оптических, акустических и электронных приборов, комплексов и систем для метеорологических измерений и технологии их применения в задачах мониторинга окружающей среды. № гос. регистрации 01201353360</p>	<p>к.т.н. В.А.Корольков</p>
<p>Проект VIII.80.2.3. Методы измерения и алгоритмы совместного анализа природно-климатических процессов. № гос. регистрации 01201353982</p>	<p>д.ф.-м.н. В.А.Тартаковский</p>

<p>Проект VIII.80.2.4. Исследование информативности ОНЧ и ТГц диапазонов электромагнитного излучения для создания систем мониторинга окружающей среды и литосферных процессов. № гос. регистрации 01201353362</p>	<p>д.ф.-м.н. В.А.Крутиков, д.ф.-м.н. Ю.М.Андреев</p>
<p>Проект VI.52.2.6. Структура разнообразия в экосистемах бореальных лесов: взаимодействие и сопряженные трансформации компонентов. № гос. регистрации 01201353359</p>	<p>д.б.н. С.Н.Горошкевич</p>
<p>Программа Президиума РАН № 4.2 «Природная среда России: адаптационные процессы в условиях изменяющегося климата и развития атомной энергетики». Координатор: ак. Лаверов Н.П.</p>	
<p>Проект № 4.2. Комплексный мониторинг современных климатических и экосистемных изменений в Сибири</p>	<p>чл.-корр. РАН М.В.Кабанов, д.ф.-м.н. В.А.Крутиков</p>
<p>Интеграционные междисциплинарные проекты СО РАН</p>	
<p>Проект № 46. «Нелинейные халькогенидные кристаллы для сверхширокополосных преобразователей лазерных частот». Координатор: чл.-корр. РАН В.В.Зуев, ИМКЭС СО РАН. № гос. регистрации 01201258315</p>	<p>д.ф.-м.н. Ю.М.Андреев</p>
<p>Проект № 69. «Интегрированные исследования климатических, гидрологических и экосистемных процессов на территории болот Западной Сибири». Координатор: чл.-к. РАН М.В.Кабанов, ИМКЭС СО РАН. № гос. регистрации 01201258313</p>	<p>д.ф.-м.н. И.И.Ипполитов, д.г.н. А.Г.Дюкарев, к.б.н. Ю.И.Прейс</p>
<p>Проект № 70. «Анализ и прогноз проявлений вынуждающего воздействия в ритмике метеорологических полей северного полушария Земли». Координатор: д.ф.-м.н. В.А.Крутиков, ИМКЭС СО РАН. № гос. регистрации 01201258314</p>	<p>д.ф.-м.н. В.А.Тартаковский</p>
<p>Проект № 112. «Развитие методов дифракционной и конформной оптики для контроля и управления параметрами волновых фронтов мощных лазерных систем». Координатор: д.т.н. А.Г.Полещук Ю ИАиЭ СО РАН. № гос.регистрации 01201261074</p>	<p>д.ф.-м.н. В.А.Тартаковский</p>
<p>Проект № 131. «Математическое и геоинформационное моделирование в задачах мониторинга окружающей среды и поддержки принятия решений на основе данных стационарного, мобильного и дистанционного наблюдения». Координатор: академик Ю.И.Шокин, ИВТ СО РАН. № гос.регистрации 01201272118</p>	<p>д.ф.-м.н. Е.П.Гордов</p>
<p>Проект № 140. «Структура и климатически обусловленная динамика разнообразия 5-хвойных сосен России». Координатор: д.б.н. С.Н.Горошкевич, ИМКЭС СО РАН. № гос. регистрации 01201258312</p>	<p>д.б.н. С.Н.Горошкевич</p>

Проект № 144_«Криогенные ресурсы Арктики и Субарктики: состояние и структура криолитозоны, физико-химическое моделирование и биологический потенциал криогенных систем». Координатор: академик В.П.Мельников № гос.регистрации 01201372890	д.б.н. Т.А.Бляхарчук
Совместные проекты фундаментальных исследований НАН Беларуси и СО РАН	
Проект № 34. «Химия органических соединений торфа в связи с процессами формирования, развития, нарушения и восстановления болотных экосистем». Руководитель проекта: д.х.н. О.В.Серебренникова, ИХН СО РАН № гос.регистрации 01201263354	к.б.н. Ю.И.Прейс
Гранты РФФИ	
Проект № 13-05-10032/к «Научный проект проведения экспедиционных исследований почв и углеродного баланса переувлажненных земель на юге таежной зоны Западной Сибири»	д.г.н. А.Г.Дюкарев
Проект № 13-05-00762/а «Междисциплинарные исследования динамики верхней границы леса на Алтае при изменениях климата»	д.б.н. Е.Е.Тимошок
Проект № 13-05-00111/а «Позднечервертичная эволюция озерных систем Алтайской горной страны»	к.г.н. П.С.Бородавко
Проект № 13-04-01649/а «Генетическая изменчивость кедра сибирского (<i>Pinus sibirica</i> Du Tour): структура и взаимосвязь нейтрального и адаптивного компонентов»	к.б.н. Е.А.Петрова
Проект № 11-05-00227/а «Исследование отклика углеродного баланса болотных экосистем разного размера на изменение климата и антропогенное воздействие»	к.б.н. Головацкая Е.А.
Проект № 11-05-01190/а_«Мониторинг и моделирование динамики парниковых газов в региональной климатической системе Западной Сибири»	к.т.н. Окладников И.Г.
Проект № 13-04-00984/а «Динамика экосистем гор Южной Сибири в голоцене по данным комплексных биоиндикационных исследований субаэральных, озерно-болотных и ледниковых отложений»	д.б.н. Т.А.Бляхарчук
Проект № 12-04-00801/а_«Механизмы экспансии и роль инвазийных насекомых-дендрофагов в современных сукцессионных процессах в сибирской тайге»	к.б.н. Кривец С.А.
Проект № 12-04-01154/а «Почвы замкнутых понижений северной лесостепи и юга таежной зоны Западной Сибири: экология, генезис, классификация»	д.г.н. Дюкарев А.Г.
Проект № 13-05-06050/г «Научный проект организации Рабочего совещания NEESPI/SIRS»	чл.-корр. РАН В.В.Зуев
Проект № 13-05-98048/р_сибирь_а «Оценка современного	к.ф.-м.н. Е.А.Дюкарев

ресурсного потенциала болот и скорости возобновления торфяных ресурсов Томской области по данным наземных и спутниковых наблюдений»	
Проект № 13-05-98060/р_сибирь_a «Энергетический анализ природно-ресурсных возможностей региона (на примере Томской области)»	д.г.н. А.В.Поздняков
Проект № 13-05-06069/г «Научный проект организации X Сибирского совещания по климато-экологическому мониторингу»	чл.-корр. РАН М.В.Кабанов
Проект № 13-05-12034/офи_м «Исследование региональных климатических изменений и их проявлений в динамике окружающей среды на основе геоинформационных сервисов анализа, обработки и интеграции данных разных источников и тематического геопортала»	д.ф.-м.н. Е.П.Гордов
Проект № 12-02-31154/мол_a_Научный проект "Исследование канала распространения звуковых волн в пределах прямой видимости"	к.т.н. Раков Д.С.
Проект № 12-04-31051/мол_a_Научный проект "Влияние сезонной ритмики основных климатических параметров на структуру сообществ болотных раковинных амёб"	к.б.н. Курьина И.В.
Проект № 12-04-31340/мол_a_Научный проект "Возможность, характер и некоторые последствия генетического взаимодействия между видами с разной степенью родства (на примере 5-хвойных сосен)"	к.б.н. Васильева Г.В.

1.2. РЕЗУЛЬТАТЫ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ РАБОТ

1.2.1. КРАТКИЕ АННОТАЦИИ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ РАБОТ, ВЫПОЛНЕННЫХ ПО БАЗОВЫМ ПРОЕКТАМ

Проект VIII.77.1.1 Пространственно-временные закономерности современных природно-климатических изменений на Азиатской территории России.

Блок 1. Для Азиатской территории России за период 1979-2012гг. по данным реанализа и синоптическим картам исследовать характеристики вихревой циркуляции и районы циклогенеза.

По результатам анализа данных наблюдений на метеорологических станциях на азиатской территории России показано, что процесс потепления в период 1982-2012 гг. протекает менее интенсивно, чем в период 1975-2005 гг., при этом сохраняется повышение среднегодовой температуры приземного воздуха. Большую роль в уменьшении темпов роста температуры играют зимние месяцы, в которые происходит смена процесса потепления процессом

похолодания, сопровождаемая изменением атмосферной циркуляции. С начала XXI века доля изменчивости меридиональной циркуляции в изменчивости поля давления увеличилась до 50% и в изменчивости поля температуры до 15%.

По данным наблюдений на метеорологических станциях был рассчитан внутригодовой ход средних региональных температур, а также скорости их изменений. Внутригодовой ход характеристик температуры по регионам за период 1982-2012 гг. приведен в табл. 1.

Тренды среднегодовой температуры положительны и значимы для всех регионов азиатской территории России (АТР), кроме Средней Сибири. В Восточной Сибири потепление происходило с наибольшей скоростью 0,5°C/10 лет для среднегодовой температуры и проявлялось во все календарные месяцы, за исключением января и февраля, а также декабря.

Таблица 1 - Сезонный ход температуры \bar{T} (°C) и линейных трендов \bar{T}_{tr} (°C/10лет) для регионов АТР за 1982-2012 гг.

Месяц	Западная Сибирь		Средняя Сибирь		Восточная Сибирь		Предбайкалье и Забайкалье		Приморье	
	\bar{T}	\bar{T}_{tr}	\bar{T}	\bar{T}_{tr}	\bar{T}	\bar{T}_{tr}	\bar{T}	\bar{T}_{tr}	\bar{T}	\bar{T}_{tr}
Январь	-19,0	-1,06	-31,4	0,36	-33,1	-0,10	-24,0	-0,50	-24,9	0,75
Февраль	-17,0	-0,63	-28,7	-0,47	-29,9	-0,86	-19,5	0,11	-19,9	-0,05
Март	-8,1	-0,13	-19,2	0,20	-22,2	0,84	-10,9	0,19	-10,3	-0,20
Апрель	-1,4	1,11	-7,6	1,43	-11,5	0,52	-0,5	0,94	1,1	-0,13
Май	8,0	0,84	3,6	0,67	1,8	0,92	8,0	0,30	9,2	0,55
Июнь	14,7	0,88	12,9	0,99	10,5	0,40	14,7	0,92	15,3	0,46
Июль	18,0	-0,19	16,3	0,45	13,5	0,56	17,4	0,50	18,2	0,29
Август	14,2	-0,10	12,9	-0,07	10,8	0,56	15,0	-0,06	16,5	0,27
Сентябрь	7,7	0,58	4,9	0,23	3,7	0,42	7,4	0,22	10,0	0,12
Октябрь	0,4	0,66	-6,1	0,20	-8,5	0,82	-0,8	0,11	0,7	0,47
Ноябрь	-11,0	0,78	-21,5	0,10	-23,2	0,89	-12,1	-0,10	-13,2	0,38
Декабрь	-17,5	-0,26	-29,2	-0,68	-31,6	0,55	-19,9	-1,08	-24,0	0,33
Год	-0,7	0,25	-8,1	0,22	-10,3	0,50	-2,0	0,18	-1,7	0,36

Примечание. Жирным шрифтом выделены значимые оценки ($\alpha = 0,1$).

Отрицательные тренды температуры в зимние месяцы наблюдались и в других регионах АТР, причем максимальное значимое уменьшение температуры (-1,08°C/10 лет) происходило в декабре в Предбайкалье и Забайкалье. В феврале на территории Западной и Средней Сибири, а также, на АТР в целом, потепление сменилось похолоданием. На территории всех регионов преобладал процесс интенсивного потепления в весенне-летний период с максимумом в апреле в регионе Средней Сибири (1,43°C/10 лет). На территории Западной Сибири потепление охватывало и осенний период.

На поясняющем рисунке 1 для февраля приведены пространственные распределения коэффициентов линейных трендов приземной температуры воздуха ($\overline{T_{tr}}$) за временной интервал 1975-2005 гг. (а) и 1982-2012 гг. (б). Приведенные карты иллюстрируют смещение величин трендов в отрицательную область в диапазоне от 60° до 70° с.ш., а для Западной Сибири от 50° до 70° с.ш.

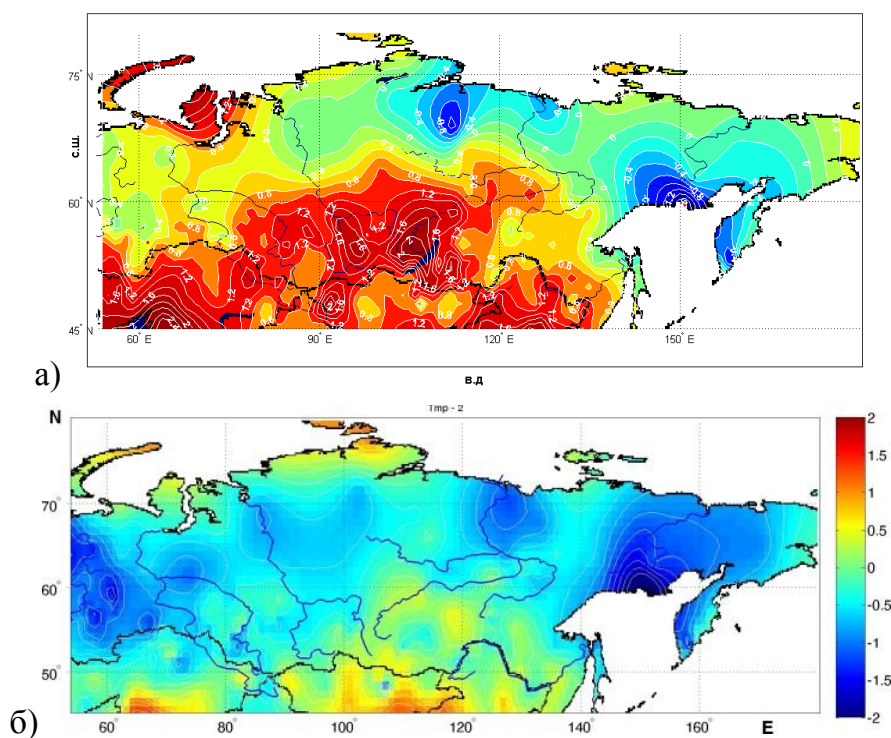


Рис. 1. Характеристики изменения февральской температуры $\overline{T_{tr}}$ (°C/10лет) на АТР: а) за период 1975–2005 гг.; б) за период 1982–2012 гг.;

Для АТР в среднем за год, как и для большей части регионов, характерно замедление темпов потепления, что может быть связано с увеличением температуры в высоких широтах, которое приводит к изменению атмосферной циркуляции за счет изменения направления барического градиента.

Ускоренное потепление в Арктике, уменьшая меридиональный градиент температуры, приводит к снижению интенсивности зональной и усилению меридиональной циркуляции в средних широтах.

Для азиатской территории России (АТР) за период с 1984 по 2011 гг. по синоптическим картам и данным реанализа была проанализирована изменчивость количества барических образований. По разработанной в лаборатории методике мануального трекинга барических образований (БО) по картам приземного геопотенциала (Н, гм), для территории, заключенной между 30 и 90° с.ш и от 0 до 180° в.д. за период с 1984 по 2011 гг. были выделены циклоны, определены их характери-

стики, прослежена их траектории с учетом эволюции циклонов. В качестве источника данных использовались карты пространственного распределения высоты геопотенциала для уровня 1000 гПа, построенные по данным реанализа JRA-25. Таким образом, подготовлена основная часть архива данных величин, необходимых для последующего анализа вихревой активности во внетропических широтах восточной части Северного полушария.

В проведенном анализе учитывался сезон года, а также направление движения циклонов. В начале XXI века значимых изменений количества циклонов в среднем за год на АТР не выявлено. Наиболее изменчиво количество циклонов (Z_n), приходящих с западного направления: среднеквадратическое отклонение (σ) ~ 10 при средней величине 84. Выявлены сезонные особенности циклонической активности. Для Западной Сибири зимой наблюдается значимое увеличение Z_n с северного (0,14 циклона/год при $\sigma = 0,06$) и уменьшение с западного направления (0,36 циклона/год при $\sigma = 0,09$). Это свидетельствует об усилении меридионального переноса и, соответственно, об усилении процессов блокирования на АТР. Весной наблюдается рост циклонов южного направления (0,22 циклона/год при $\sigma = 0,05$). В Восточной Сибири зимой преобладает рост Z_n с северного направления (0,13 циклона/год при $\sigma = 0,03$), а весной с южного (0,13 циклона/год при $\sigma = 0,02$). В Приморье в течение всего года наблюдается рост числа циклонов с восточного направления (до 0,45 циклона/год при $\sigma = 0,11$ весной). Выявлен значимый рост числа циклонов в зимнее время (0,52 циклона/год при $\sigma = 0,11$). Таким образом, для территорий Западной и Восточной Сибири наблюдается усиление меридиональной циркуляции в зимний и весенний сезоны. Наибольший эффект приходится на Западную Сибирь, где изменчивость меридиональной циркуляции описывает от 25 до 50% изменчивости поля давления в XXI веке и до 15% изменчивости поля температуры.

Дополнительные расчеты трендов высоты геопотенциала (гм/10 лет), зональной составляющей скорости ветра (u , м/с/10 лет) и ротора скорости ($rot\vec{V}$, $10^6 \text{c}^{-1}/10$ лет) на территории Западной Сибири за 2002–2011 гг. на уровне 500 гПа в феврале показали, над Уралом и над западной частью территории (рис. 2):

- 1) увеличение значений H (рис. 2а);
- 2) уменьшение зональной составляющей скорости ветра u (рис. 2б);
- 3) увеличение ротора скорости $rot\vec{V}$, отвечающего за антициклональный тип циркуляции (рис. 2в).

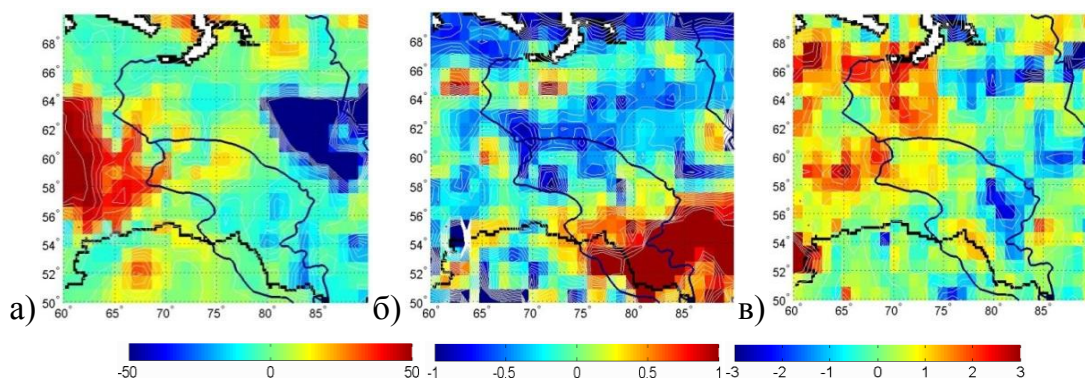


Рис. 2 – Распределение трендов на поверхности 500 гПа в феврале по данным реанализа JRA-25 за 2002–2011 гг.: а) H , б) u , в) $rot \vec{V}$

Анализ изменений скоростей ветра, рассчитанных по данным реанализа NCEP-NCAR вдоль оси струйных течений на уровне верхней тропосферы, показывает, что значимый тренд среднегодовой скорости ветра северного субтропического течения составляет 0,24 м/с за 10 лет с 1948 по 2012 гг. Данный рост наблюдается во все месяцы, за исключением двух переходных месяцев марта и ноября. Значимый тренд среднегодовой скорости ветра южного субтропического течения является отрицательным и составляет 0,45 м/с/10 лет. Установлена тенденция смещения осей к полюсам, при этом ось северного течения со временем смещается к Северному полюсу на величину 0,1°широты/10 лет, а ось южного течения смещается к Южному полюсу со скоростью 0,2°широты/10 лет. Для северного течения эти перемещения в основном происходят в конце лета для Северного полушария, в то время как смещение оси южного течения проявляется независимо от сезона.

Анализ распределения температурного поля Земли на уровне 200 гПа в январе месяце дает возможность выделить три температурные зоны: зона относительно теплых, умеренных и холодных воздушных масс. Зона теплых воздушных масс расположена над областью летней Антарктиды и имеет четкую границу раздела с зоной умеренных воздушных масс в районе 50° ю.ш, которая охватывает большой регион, включающий в себя субтропические широты Южного полушария и экваториальные области. Граничит с зоной холодных воздушных масс в районе субтропиков Северного полушария.

В Южном полушарии струйное течение расположено на границе теплой и умеренной воздушной массы, а в Северном полушарии – на границе умеренной и холодной. Наибольший температурный градиент наблюдается на юго-восточной границе холодного Евразийского материка и теплого Тихого океана в субтропиках. Именно здесь фиксируются наибольшие абсолютные величины скорости ветра, которые в зимний период не опускаются ниже 50 м/с.

Анализ температурного поля в июле показал, что по сравнению с январем, теплая и холодная зоны меняются своими полюсами. Зона умеренных воздушных масс в Северном полушарии уже не имеет четких границ с теплой зоной, так как здесь уже играет значимую роль разная степень прогрева материков и океанов на поверхности Земли вдоль широт. Скорость ветра становится ниже 30 м/с, что говорит об ослаблении северного струйного течения.

Относительно стабильные сильные ветры в июле наблюдаются в субтропиках Южного полушария вдоль четкой границы разделения холодной и умеренной воздушных масс. Процессы, поддерживающие кинетическую энергию южного струйного течения в этот период времени аналогичны процессам, происходящим в зимнее время в Северном полушарии.

В Дальневосточном секторе тенденция смещения оси северного течения проявляется только в сентябре. Положительные тренды изменения оси южного течения полностью совпадают с общей тенденцией.

Существенные разногласия с выявленной тенденцией смещения осей струйного течения к полюсам можно увидеть для северного субтропического струйного течения в Тихоокеанском секторе. В конце весны и в начале лета для Северного полушария положение оси со временем сдвигается к экватору. Такое поведение обуславливается взаимодействием между собой двух местных центров действия атмосферы: Алеутского минимума и Гавайского максимума.

Результаты расчетов средних значений влагосодержания по данным реанализов JRA-25 и 20-th Century за периоды с 1979 – 2001 гг. и с 2001 – 2011 гг. показывают, что за последние десять лет для южной части Западной Сибири происходит увеличение значений влагосодержания в летний период (июнь, июль), тогда как в центральной части в летний период наблюдается уменьшение. Для северной территории изменения не выявлены.

Было выполнено исследование пространственно–временной изменчивости влагосодержания и температуры за периоды с 1979 – 2001 гг. и с 2001 – 2011 гг. для трех областей Западной Сибири: северная часть 65-73 с.ш., 60-90 в.д., центральная часть 55-65 с.ш., 60-90 в.д., южная часть 50-55 с.ш., 80-90 в.д. В работе использовались данные двух реанализов: 20-th Century и JRA-25, а также данные двусрочных (00 и 12, VCB) стандартных аэрологических наблюдений, содержащиеся на сайте <http://weather.uwyo.edu/>. Для расчетов составляющих водного баланса проведена верификация аэрологических данных и данных реанализов. Была проведена оценка качества первичной аэрологической информации: выявление и отсеивание ошибок записи, выявление пропусков. Данные выписывались по стан-

дартным изобарическим поверхностям за 2 срока в сутки, осреднение проводилось для каждого срока (00 и 12).

Результаты расчетов средних значений влагосодержания по данным реанализов JRA-25 и 20-th Century за периоды с 1979 – 2001 гг. и с 2001 – 2011 гг. показывают, что за последние десять лет для южной части Западной Сибири происходит увеличение значений влагосодержания в летний период (июнь, июль), тогда как в центральной части в летний период наблюдается уменьшение. Для северной территории изменения не выявлены.

Максимальные положительные тренды влагосодержания за период 2002 – 2011 гг. на высоте 850 гПа, приходятся на апрель и октябрь, а минимальные наблюдаются в июне. В целом, выявленные тенденции влагосодержания сохраняются и на других изобарических уровнях.

Тенденции, определенные по данным аэрологических наблюдений, как правило, совпадают с тенденциями, полученными с помощью реанализов.

Блок 2. Исследовать на основе наземных данных и данных modis особенности пограничного слоя атмосферы во время дымового смога от лесных пожаров, приводящие к изменению приземного электрического поля атмосферы.

По результатам синхронных наблюдений в приземном слое метеорологических и электрических характеристик при сильном задымлении от удаленных лесных пожаров (Томск, лето 2012 г.) впервые обнаружен эффект суточных колебаний напряженности электрического поля амплитудой от 300 В/м днем до -300 В/м ночью. Обнаруженный эффект является значимым для моделирования и прогнозирования погодообразующих и вегетационных процессов при лесных пожарах.

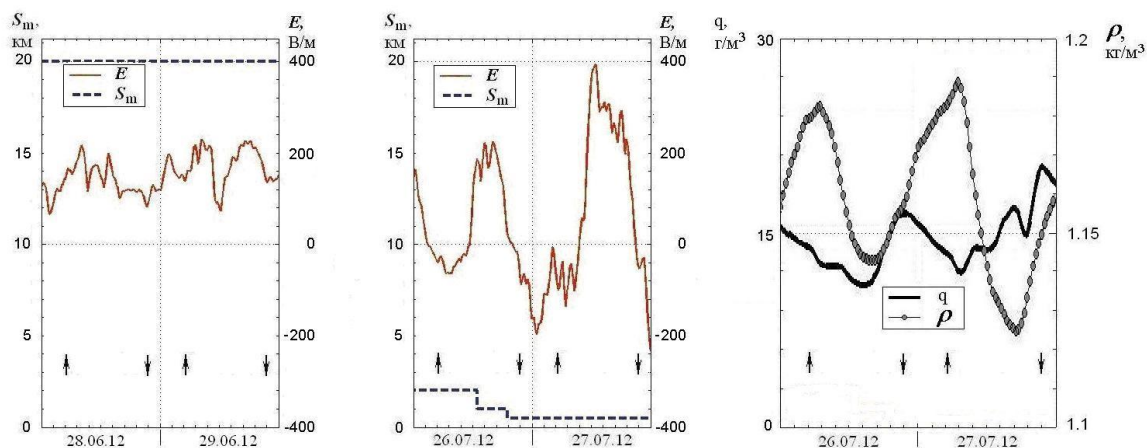


Рис. 3 - Временные вариации напряженности электрического поля E и метеорологической дальности видимости S_m , абсолютной влажности q и плотности ρ .

На поясняющем рисунке приведены примеры временных вариаций напряженности электрического поля E и метеорологической дальности видимости S_m в отсутствие задымления ($S_m \sim 20$ км, левая панель) и при сильном задымлении ($S_m < 1$ км, средняя панель), а также абсолютной влажности q и плотности воздуха ρ при сильном задымлении (правая панель). Стрелками указано время восхода (захода) Солнца. Из рисунка видно, что в отсутствие задымления наблюдаемые вариации напряженности поля E относительно невелики, а величина E остается круглосуточно положительной. При сильном задымлении амплитуда вариаций E возрастает, а величина E в ночное время становится отрицательной.

Взаимосвязь суточных вариаций напряженности электрического поля с наблюдаемыми вариациями метеорологических величин допускает следующую интерпретацию обнаруженного эффекта. После полудня с уменьшением инсоляции в однородной воздушной массе начинает падать температура T_a и одновременно начинается рост абсолютной влажности q и плотности воздуха ρ при практически неизменном атмосферном давлении P_a . Падение T_a и рост ρ продолжают вплоть до восхода Солнца. Вместе с тем, увеличение плотности паров воды q продолжается только до захода Солнца. После захода Солнца начинается падение q , продолжающееся до восхода. В этот же промежуток времени происходит уменьшение электропроводности (числа легких ионов).

После захода Солнца при температуре атмосферы, близкой к температуре точки росы, частицы дымового аэрозоля приземного слоя начинают аккумулировать на себя водяной пар. Одновременно, при взаимодействии легких ионов обеих полярностей с аэрозольными частицами более крупные из них становятся заряженными отрицательно и, вследствие оседания под действием силы тяжести, формируют вблизи поверхности отрицательный объемный заряд. Именно этот слой частиц с отрицательным объемным зарядом и приводит к инверсии направления напряженности поля ночью ($E(t) < 0$).

После восхода Солнца начинается нарастание как плотности паров воды, так и электропроводности. Под воздействием конвективных потоков воздуха, выносящих частицы дымового аэрозоля вверх, и ускоренном обезвоживании этих частиц сформировавшийся ночью вблизи поверхности отрицательно заряженный слой разрушается.

Блок 3. Исследование суточной и сезонной динамики эмиссии парниковых газов на территории Большого Васюганского болота.

Выполнена оценка эмиссии метана с поверхности торфяной залежи разных типов олиготрофных болотных фитоценозов Бакчарского болота (сосно-

во-кустарничково-сфагнового фитоценоза – низкого рьяма, осоково-сфагнутой топи, грядово-мочажинного комплекса (гряда и мочажина).

Измерение эмиссии метана проводилось камерным методом во время полевых экспедиций в мае, июле и сентябре, в круглосуточном режиме – через каждые три часа. Выполнялся отбор проб воздуха в начале экспозиции и в конце (время экспозиции 15 мин). Дальнейшее измерение метана осуществлялось на газовом хроматографе Shimadzu-GC14В с пламенно-ионизационным детектором. Параллельно проводились измерения температуры и влажности воздуха, температуры поверхности торфяной залежи и торфа на разных глубинах. Оценивалась сезонная и суточная динамика эмиссии CH_4 . Наиболее высокие значения характерны для топяных участков – осоково-сфагнутой топи и мочажины ГМК. Гряда ГМК и низкий рям характеризуются очень низкими величинами эмиссии метана $0,24\text{-}0,91 \text{ мг/м}^2\text{час}$.

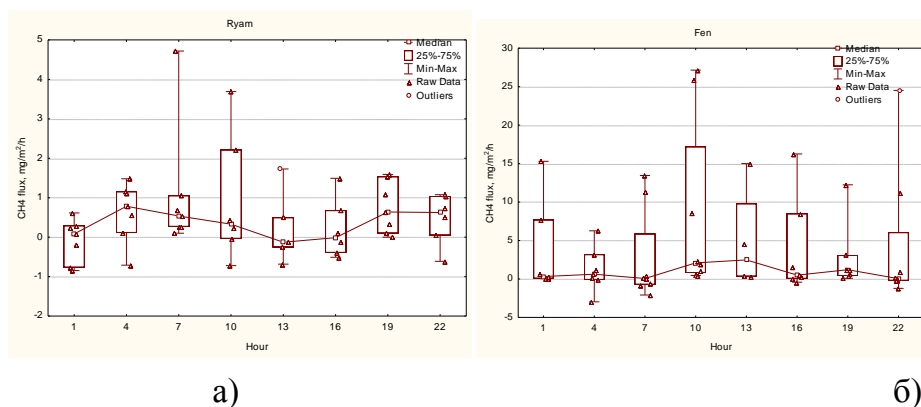


Рис. 4. Суточная динамика потоков метана в экосистеме низкого рьяма (а) и осоково-сфагнутой топи (б) в 2012 г. Линией соединены средние значения, показаны диапазон вариаций и квантили.

В суточной динамике метана не выявлено каких-либо четких закономерностей, однако можно отметить, что на топяных участках (осоково-сфагнутой топи и мочажина ГМК) как правило, эмиссия метана выше в утренние и дневные часы (в среднем от $7,82$ до $10,19 \text{ мгCH}_4\text{м}^2\text{/ч}$) по сравнению с ночными (от $0,7$ до $4,47 \text{ мгCH}_4\text{м}^2\text{/ч}$).

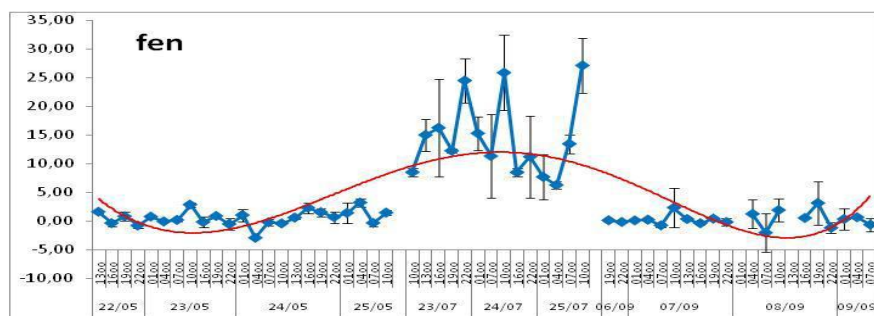


Рис. 5. Сезонный ход эмиссии метана для осоково-сфагнутой топи в 2012 г.

Сезонная динамика эмиссии метана наиболее четко прослеживается на осоково-сфагновой топи и мочажине ГМК: максимальная эмиссия наблюдается в июле (3,49 и 12,84 мгСН₄м²/ч), минимальная – в мае и сентябре (от 0,41 до 0,66 мгСН₄м²/ч). Для рямовых участков сезонная динамика эмиссии метана практически не выражена и в среднем составила 0,52 мгСН₄м²/ч.

Натурные исследования суточной динамики потоков СО₂ проводились камерным методом. Использование математической модели позволило получить отдельные оценки для дыхания почвы и растений и для фотосинтетической ассимиляции углерода для каждого периода исследования.

Известно, что потоки углекислого газа (СО₂) в наземных экосистемах являются результатом многих биологических процессов. Ассимиляция углерода в процессе фотосинтеза, дыхание растений, отмирание частей растений и эмиссия углекислого газа почвой являются основными потоками СО₂ в системе почва – растительность – атмосфера. Потоки СО₂ измерялись с помощью автоматической системы Li-Cor 8100 (США) и прозрачной камеры. Время экспозиции составляло 5 минут, периодичность измерения – 30 минут.

По результатам измерений получено, что поток СО₂ имеет четкий суточный ход с максимумом в ночное время и минимум в дневное время. Максимальные значения потока в ночное время составили 7,8 μмоль/м²/с. Отрицательные значения потока в дневное время показывают, что ассимиляция СО₂ растениями внутри камеры выше, чем дыхание почвы. Минимальные значения потока (-4,2 μмоль/м²/с) наблюдались 19 августа 2012 г.

Для описания наблюдаемых закономерностей изменения потоков СО₂ была предложена простая модель, в которой суммарный экосистемный обмен (NEE) складывался из дыхания почвы (R), дыхания растений (H) за вычетом ассимиляции углекислого газа в процессе фотосинтеза. $NEE = (R+H)-Ph$. Основными определяющими факторами в модели были температура почвы и суммарная солнечная радиация. $(R+H) = R_0 \exp(kT)$, $Ph = \alpha I P_m / (\alpha I + P_m)$.

Дыхание почвы и растений объединены в один поток и зависят от температуры поверхности почвы (T). Фотосинтез определяется суммарной солнечной радиацией (I). Эмпирические коэффициенты модели (R_0 , k, α , P_m) оценивались для каждых суток наблюдения минимизацией расхождения между результатами моделирования и наблюдений.

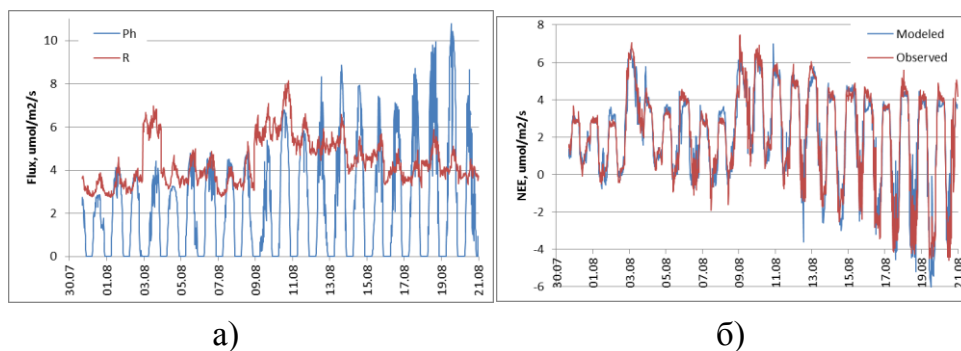


Рис. 6. а) Результаты расчета величины фотосинтеза (Ph), дыхания почвы и растений (R); б) Суточные вариации NEE с 30 июля до 21 августа 2012 г. данные наблюдений (Observed) и моделирования (Modeled).

На рисунке 6 приведен временной ход модельных значений потоков фотосинтетической ассимиляции и дыхания почвы для июля 2012 г., а так же сравнительный ход суммарных потоков (NEE) расчетного и наблюдаемого. Сравнение значений потоков для каждого периода показывает хорошее согласие данных измерений и моделирования.

Проект VIII.77.1.2. Погодно-климатические изменения в Сибири и Арктике в условиях усиления аэрозольных нагрузок

1. Численное моделирование влияния аэрозольных вулканогенных возмущений в тропической стратосфере на климатические изменения Евразии

Многолетние наблюдения за температурой стратосферы в тропическом поясе широт показывают, что в период активности взрывных извержений тропических вулканов, приходящийся на последнюю четверть 20-го века, происходило повышение температур. Оно вызывалось радиационным нагревом внутри слоев вулканогенных аэрозолей, сформировавшихся из продуктов, выброшенных в стратосферу при взрывных извержениях. Возникшие температурные аномалии формировали новые температурные контрасты между тропиками и областями полярных широт, вызывающие возмущения ОЦА. Контрасты дополнительно усиливались за счет вулканогенной депрессии стратосферного озона, приводящей к похолоданию стратосферы, особенно в полярных регионах.

Для анализа возмущающего влияния температурных контрастов в стратосфере Северного полушария на климатические изменения в арктических регионах использовалась численная модель ОЦА промежуточной сложности. Спектральное разрешение модели по горизонтали T42 ($2,81^\circ \times 2,81^\circ$ по широте и долготе), по вертикали 32 уровня.

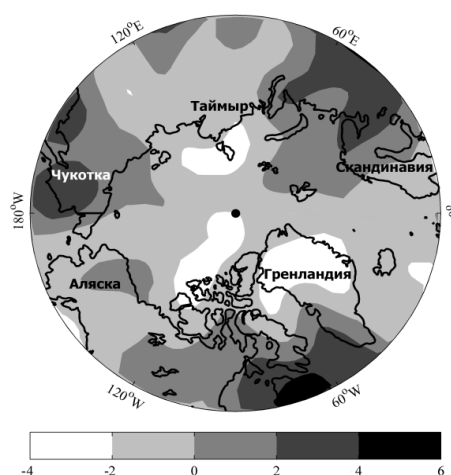


Рис. 7. Результат численного эксперимента: поле разностей температур у поверхности Земли для сентября в регионах Северного Ледовитого океана, усредненных за 10 лет после выключения нагрева в тропической стратосфере.

В численном эксперименте моделировался дополнительный нагрев стратосферы на 2°C на высоте 21 км в поясе широт $20\text{--}23^{\circ}$ с.ш., в контроле – без нагрева. Длительность каждого эксперимента 18 лет, причем в эксперименте дополнительный нагрев проводился первые 8 лет для разгона модели, затем нагрев выключался. Анализ результатов проводился по схеме «эксперимент на чувствительность», т.е. по разности данных эксперимента и контроля в течение 10 лет после выключения нагрева.

На рис. 7 приведен один из результатов проведенного численного эксперимента: поле средних за 10 лет разностей температур у поверхности Земли для середины сентября в регионах Северного Ледовитого океана. Темные цвета характеризуют очаги потепления, а светлые – похолодания. Видно, что языки очагов тепла обеспечивают прогрев моря Бофорта, Восточно-Сибирского и Баренцева морей.



Рис. 8. Результаты космического мониторинга минимальных границ ледовых полей в Северном Ледовитом океане с 1979 по 2007 гг. (URL)

На рисунке 8 показаны результаты космического мониторинга минимальных границ ледовых полей в Северном Ледовитом океане с 1979 по 2007 гг. Если Баренцево море в сентябре всегда чисто ото льда, чему в большей степени способствует океанический прогрев Северо-атлантическим течением, то потери ледового покрова в Восточно-Сибирском и Чукотском морях и море Бофорта, скорее всего, связаны с появлением очагов тепла на п-овах Чукотка и Аляска, возникающих как результат вулканогенного разогрева тропической стратосферы. Из сравнения рисунков 7 и 8 также следует, что наблюдается полное соответствие в расположении очагов похолодания в районах о-вов Гренландия и Канадского Арктического архипелага, и п-ова Таймыр.

Для дополнительной проверки связи динамики очага тепла на п-ове Чукотка с активностью вулканов было проанализировано поведение приземных температур по данным метеостанций в этом регионе. На рисунке 9 приведен ряд изменений среднемесячных приземных температур, усредненных для этих станций и сглаженных по 30 точкам. Столбиками в нижней части рисунка 9 приведен временной ряд индексов вулканической взрывчатости для извержений с $VEI \geq 4$.

На рис. 9 видно, что все мощные вулканогенные аэрозольные возмущения стратосферы откликаются через 5 лет всплесками температур у поверхности Земли в очаге тепла на п-ове Чукотка. В период высокой частоты следования мощных вулканических взрывных извержений с середины 70-х до середины 90-х годов прошлого столетия эти всплески накладываются друг на друга, что могло способствовать ускорению роста приземных температур.

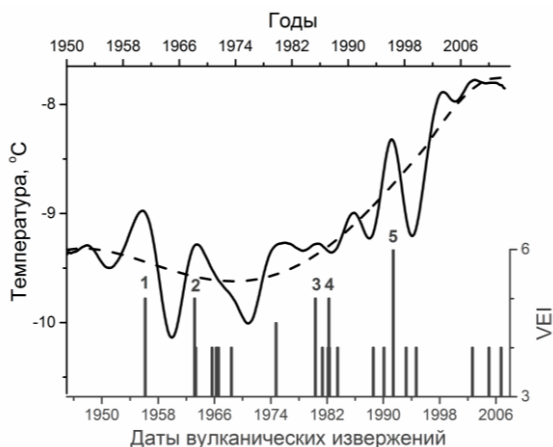


Рис. 9. Временной ряд изменений приземных температур для региона п-ова Чукотка и временной ряд индексов VEI, сдвинутый вперед на 5 лет относительно температурного ряда.

2. Исследование климатических изменений в Северном полушарии в результате моделирования приостановки меридионального круговорота воды северных морей

Для исследования отклика глобальной климатической системы на аномальные потоки тепла, связанные с Атлантическим долгопериодным колебанием (АДК) анализировались эксперименты с совместной моделью МОЦА ЕСНАМ5 и термодинамической моделью верхнего перемешанного (50 м) слоя океана. Используемая для экспериментов модель имеет спектральное горизонтальное разрешение T31 (примерно $3.85^\circ \times 3.85^\circ$ по широте и долготе) и 19 вертикальных уровней. Океаническая модель представляет собой уравнение сохранения тепла для однородного слоя океана для каждой модельной ячейки с нулевым потоком тепла на боковых и нижней границах ячейки и потоком турбулентного тепла (скрытого и явного) и радиации (длинноволновой и коротковолновой) на верхней границе ячейки. Средний климатологический перенос тепла между ячейками, связанный с динамикой океана (конвергенция океанического потока тепла), задавался с помощью, так называемого Q-потока, вычисляемого по данным эксперимента с МОЦА с заданными граничными условиями для температуры поверхности океана (ТПО) и границ морского льда за период 1971-2000 гг. Для моделирования эффекта АДК использовались дополнительные (аномальные) потоки океанической конвергенции тепла, связанные с АДК.

Для исследования влияния аномальных потоков океанической конвергенции тепла, связанных с долгопериодными колебаниями климата в Северной Атлантике (к северу от 40 град. с.ш.) и в атлантическом секторе Арктики были проведены: 1) контрольный эксперимент (CNTRL), в котором конвергенция океанического потока тепла (Q-поток) была задана по данным эксперимента с МОЦА ЕСНАМ5 с использованием стандартных (соответствующих современному климату) климатологических данных по ТПО и морскому льду AMIP-II; 2) эксперимент (ATLICE) с дополнительным потоком тепла, который связан с АДК, (добавленным к Q, использовавшемуся в контрольном эксперименте) в секторе ($70^\circ \text{з.д.}-80^\circ \text{в.д.}, 40^\circ \text{с.ш.}-90^\circ \text{с.ш.}$); 3) эксперимент (2xATLICE) с удвоенным потоком тепла, который использовался в эксперименте (ATLICE); 4) эксперимент (ATL) с дополнительным потоком тепла только в Атлантике (сектор $70^\circ \text{з.д.}-80^\circ \text{в.д.}, 40^\circ \text{с.ш.}-60^\circ \text{с.ш.}$); 5) эксперимент (ICE) с дополнительным потоком тепла только в Арктике (сектор $70^\circ \text{з.д.}-80^\circ \text{в.д.}, 60^\circ \text{с.ш.}-90^\circ \text{с.ш.}$). Аномальные среднегодовые потоки турбулентного тепла с поверхности океана, соответствующие разности между высокой и низкой фазами АДК получены по данным контрольного эксперимента (D16) с МОЦАО

ESNAM5/MPI-OM, как разность между 30-летними периодами высокой и низкой фазы АДК.

Пространственная структура аномальных среднесезонных потоков, которые использовались в экспериментах ATLICE, ATL и ICE, приведена на рисунке 10 (а, б) соответственно для зимы и лета, потоки для эксперимента 2xATLICE – это удвоенные значения потоков ATLICE. Как видно из рисунка 10 (а, б), зимой аномальные потоки тепла во всех экспериментах значительно превышают соответствующие значения потоков летом. При этом зимой значения потоков в Арктике больше, чем в Североатлантическом секторе, а летом наоборот. Суммарный годовой вклад аномальных потоков тепла составляет 0.09 ПВт для эксперимента ATLICE, для ATL и ICE 0.048 и 0.042 ПВт соответственно.

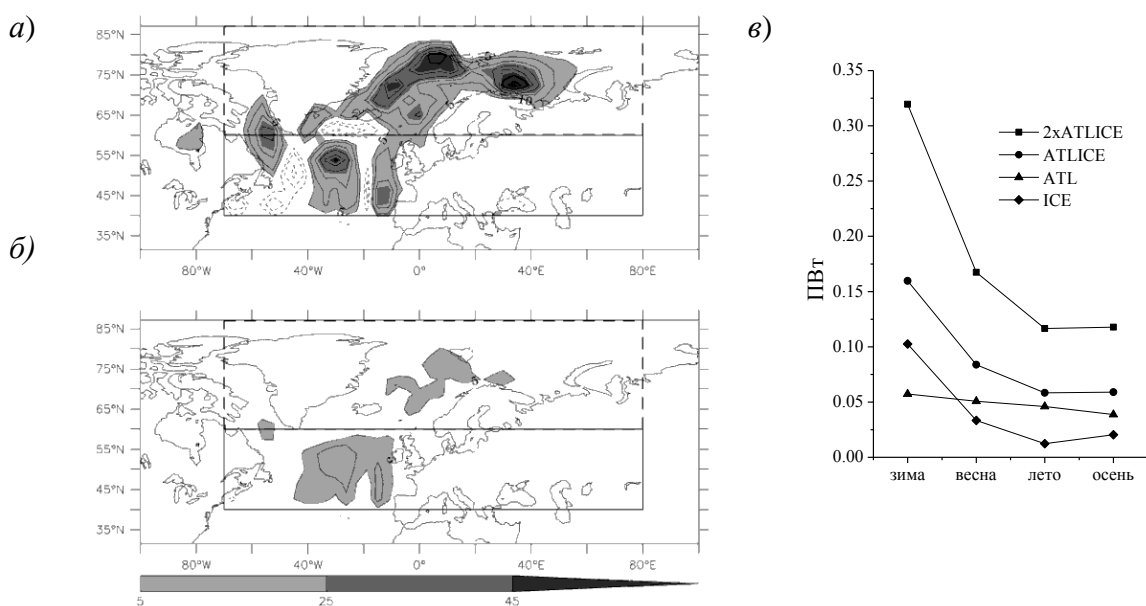


Рис. 10. Аномальные среднесезонные потоки турбулентного тепла в модели ($\text{Вт}/\text{м}^2$) для эксперимента ATLICE а) зима, б) лето. Прямоугольниками показаны региона, где задавались аномальные потоки тепла для экспериментов ATL (сплошная линия), ICE (пунктир). Сплошным контуром показаны положительные значения потоков, пунктиром – отрицательные значения через $10 \text{ Вт}/\text{м}^2$ дополнительно проведены контуры $\pm 5 \text{ Вт}/\text{м}^2$, в) сезонный ход аномальных потоков тепла (ПВт) для 2xATLICE, ATLICE, ATL, ICE.

На рисунке 10 (в) показан сезонный ход аномальных потоков в ПВт. Несмотря на то, что годовой вклад потоков тепла из океана в атмосферу в Северной Атлантике сравним со значениями в Арктике, их сезонный ход значительно отличается друг от друга. Значения аномалий в Северной Атлантике слабо меняются в течение года. В Арктике зимние аномалии превышают летние почти в 8 раз.

На рис. 11 (а, б) показаны среднесезонные температурные тренды для зимы и лета для периода 1978-2007 гг. по данным наблюдений GISS. Максимальное потепление приходится на высокие широты СП, среднеполушарный рост температуры составляет 0.67°C зимой и 0.59°C летом. Для зимнего периода максимальный рост

температур достигает 4°C в Северо-Европейской части России, в Скандинавии, восточной и центральной части Северной Америки. Для региона Европейской части России (ЕЧР) (27° – 42° в.д., 50° – 60° с.ш.) потепление составило 1.69°C , а для выбранного региона в Западной Сибири (ЗС) (77° – 92° в.д., 50° – 60° с.ш.) – 0.82°C . Летом максимальный рост температуры (до 3°C) наблюдается в Европе, особенно в юго-восточной части.

Изменения приповерхностной температуры атмосферы (ПТА) в модельных экспериментах показаны на рис. 11 (в-к). Статистическая значимость (не показана) изменений ПТА (уровня 0.05), как правило, соответствует изменениям температуры, превышающим 0.5°C . Аномальные потоки тепла приводят к значительному потеплению над Северным полушарием.

Особенно сильное потепление вместе с СА и Арктикой происходит в северных регионах континентов в зимний период. В эксперименте ATLICE наблюдается потепление (более 1°C), в области севернее 30° с.ш. Двукратное увеличение потока тепла в эксперименте 2xATLICE приводит к схожей общей пространственной структуре изменений с приблизительно двукратным увеличением амплитуды отклика (см. рис. 11 а, б) для зимы и лета.

Отдельно вклад потоков турбулентного тепла в Атлантике и в Арктике можно оценить из результатов экспериментов ATL и ICE (рис. 11 в и 11 г, соответственно). Видно, что вклад потоков турбулентного тепла (ПТТ) в Арктике в потепление над континентами СП больше, чем вклад ПТТ только в Атлантике. Суммарное изменение ПТА в СП и в выбранном регионе в ЕЧР больше в Арктике зимой и летом, но меньше (на -0.11°C), чем в Атлантике летом для выбранного региона в ЗС. Именно потоки тепла в Арктическом регионе приводят к значительному потеплению в Северной Америке, Северной Европе и ЗС, в то время как потоки тепла в Атлантике вносят основной вклад в потепление над восточной Европой и Восточной Сибирью. К югу от 55° с.ш. эффект от ПТТ в Атлантике и Арктики приблизительно одинаков.

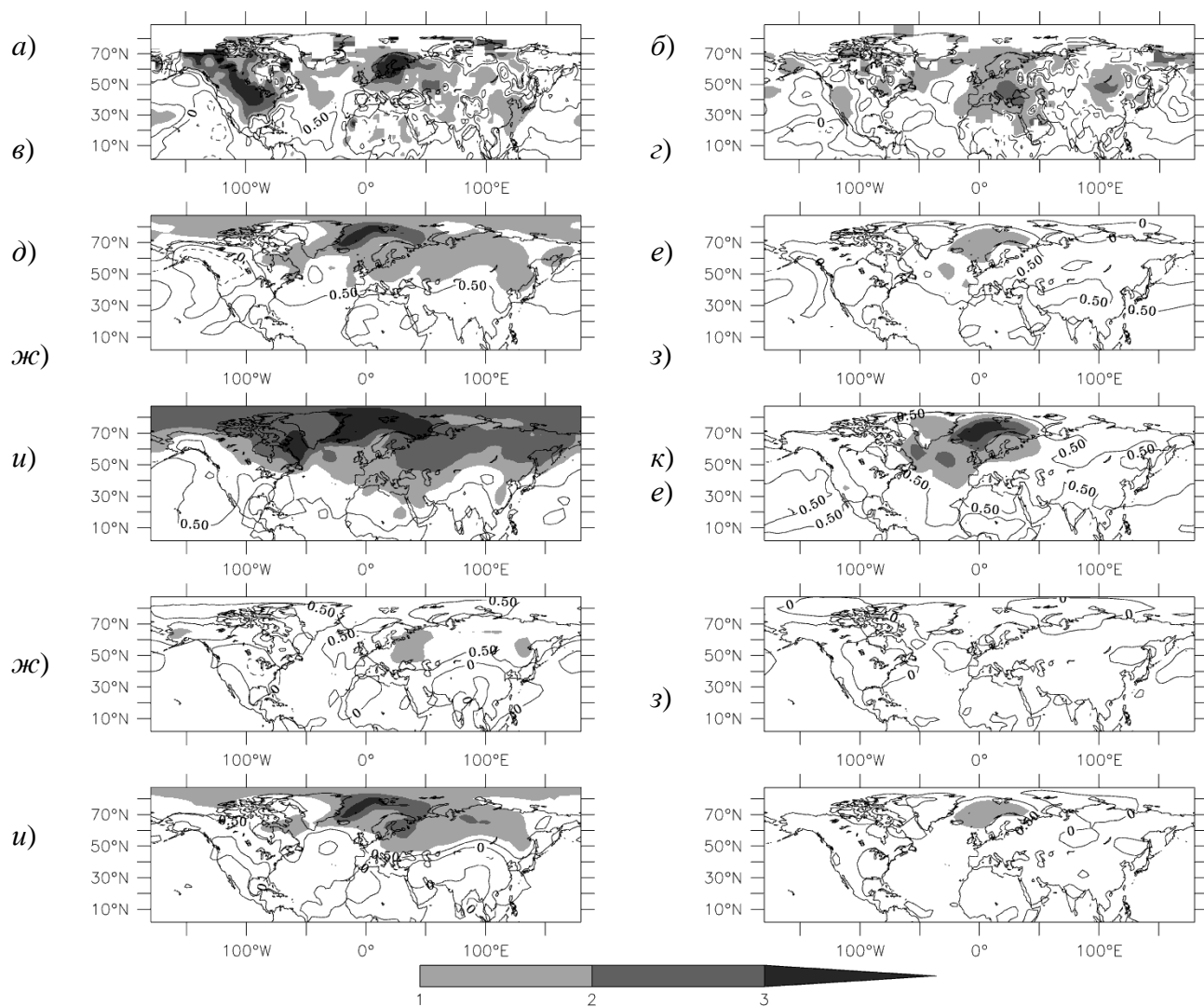


Рисунок 11. Температурный тренд в период 1978-2007 гг. для а) зимы, б) лета. Среднесезонные значения ПТА ($^{\circ}\text{C}$) для зимы (в, д, ж, з) и лета (г, е, з, к) для разности экспериментов ATLICE и CNTRL (в, г), 2xATLICE и CNTRL (д, е), ATL и CNTRL (ж, з), ICE и CNTRL (и, к). Дополнительно проведены контуры $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ и 0°C . Сплошная линия – положительные, пунктир – отрицательные значения.

Сравнение модельных результатов с данными наблюдений указывает на существенный вклад АДК в наблюдаемые тренды температуры в атлантическом секторе и над Евразией. Следует также отметить потепление в Тихом океане (рис. 11 а,б), воспроизведенное моделью в эксперименте ATLICE (рис. 11 в,г). В то же время отмечаются и значительные расхождения, связанные с тем, что изменения температуры в модели связаны исключительно с АДК, в то время как температурные изменения в последние десятилетия вызваны, в том числе антропогенным воздействием и другими долгопериодными модами климатической изменчивости, например Тихоокеанским декадным колебанием.

3. Накопление и анализ рядов комплексных наблюдений метеорологических характеристик в нижней тропосфере и приземном слое атмосферы в районе г. Томска

Накопление рядов комплексных наблюдений метеорологических характеристик в нижней тропосфере и приземном слое атмосферы осуществлялось путем проведения регулярных наблюдений за динамикой температурного профиля пограничного слоя атмосферы и приземных значений скорости и направления ветра, давления, влажности и температуры в аэропорту Богашево, г. Томск и на территории ИМКЭС СО РАН в Академгородке г. Томска в период с 08.08.2012 по настоящее время. Составлена достаточно обширная база наблюдений, полученных с помощью, прежде всего профилимером МТР-5РЕ с высоким пространственно-временным разрешением, а также универсальной метеостанцией Vaisala WXT520, по которым можно изучать динамику температурного профиля атмосферы в г. Томске.

Рассмотрим результаты измерений метеопараметров, проведенных в аэропорту Богашёво, г. Томска в течение суток 13.12.2012 г. и 26.01.2013 г.

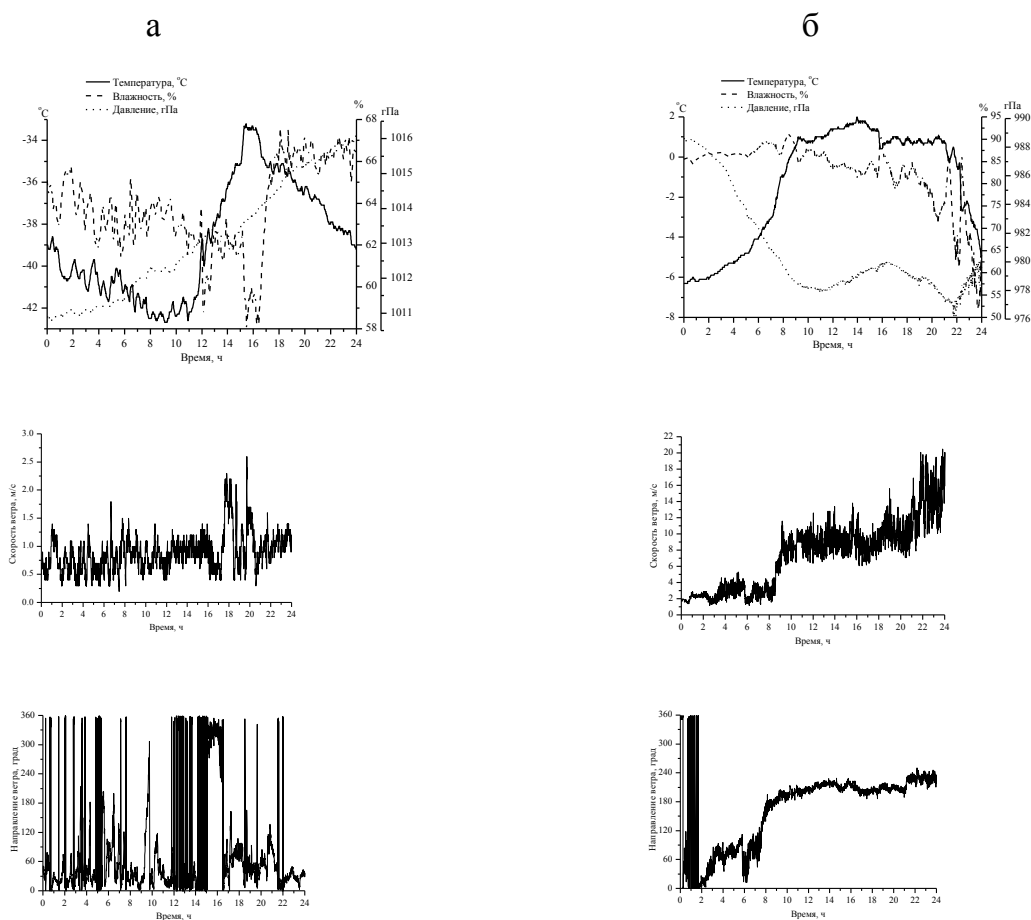


Рис. 12. Суточные вариации приземных значений метеопараметров: а) 13.12.2012 г., б) 26.01.2013 г.

Данные периоды наблюдений характеризовались различной синоптической ситуацией и соответствовали аномально холодам и аномальному потеплению, которые наблюдались в г. Томске. Синоптическая ситуация в период с 11 по 17 декабря 2012 г. в Томске характеризовалась аномально низкой температурой воздуха, которая опускалась временами ниже -40°C . Период с 23 по 27 января 2013 характеризовался существенно более высокими температурами воздуха (-5 – $+2^{\circ}\text{C}$) по сравнению со средними климатическими. По данным метеоконцентра Vaisala WXT520, которые представлены на рисунке 12 давление в аэропорту постепенно возросло на протяжении всех суток 13.12.2012 г. от 1011 до 1016 гПа, что больше климатической нормы для декабря месяца на 3–8 гПа (рост давления указывает на дальнейшее развитие антициклона), влажность – от 58 до 68%, температура - от -33 до -43°C , ветер преимущественно северного – северо-восточного направления – от 0 до 2,5 м/с, что соответствует сухой, очень холодной и практически безветренной погоде. Этот день характеризуется классическим суточным ходом температуры воздуха (с максимумом в 16 ч, минимумом – в 8–10 ч) и относительной влажности воздуха (противоположным ходом температуры).

В течение 26.01.2013 г., как это видно из рисунка 12 (б), давление, влажность температура и ветер менялись соответственно в пределах: $976 \div 989$ гПа, $52 \div 90\%$, $-6 \div +2^{\circ}\text{C}$ и 2 до 25 м/с, что также соответствует синоптической ситуации на данный день: адвекция теплого воздуха до 14–15 ч (уменьшение давления, рост температуры, высокая влажность – больше 80%), прохождение циклона и адвекция холодного воздуха к концу суток (резкое увеличение давления воздуха, понижение температуры и влажности, сильный и порывистый ветер).

На рисунках 13 и 14 представлены суточные вариации высотного профиля температуры; рисунки 13 (а) и 14 (а) соответствует 13.12.2012 г., а 13 (б) и 14 (б). - 26.01.2013г. Из рисунка 13 (а) и 14 (а) видно, что 13.12. 2012 г. в течение всех суток отмечалась инверсия температуры. До 11 ч инверсия охватывала весь километровой слой. Наиболее резкий рост температуры отмечался в нижнем 100–150-метровом слое. Затем рост температуры замедлился, в слое до 350–400 м отмечалась изотермия, либо незначительное уменьшение температуры, и далее снова температура с высотой возрастала. Интенсивность инверсии составляла 7 – 10°C . После 11 ч мощность инверсии несколько уменьшилась (700–800 м). На протяжении этого времени интенсивность инверсии составляла 6 – 11°C , максимальная за сутки составила 12°C . Примерно с 14 до 16 ч за счет незначительного дневного прогрева отмечалась приподнятая инверсия с высотой нижней границы до 50 м. Такая ситуация характеризует исключительно устойчивую погоду, способствующую сильному загрязнению атмосферы. По данным Аэродромной метеорологической ин-

формационно-измерительной системы АМИС-РФ в аэропорту на протяжении суток наблюдалось дымка и туман с видимостью от 650 м (с 05 до 13 ч 13 декабря и ночью 14 декабря), что является ниже минимума (800 м) погоды для аэропорта г. Томска. Одновременно в Томске наблюдался туман с видимостью от 200 м.

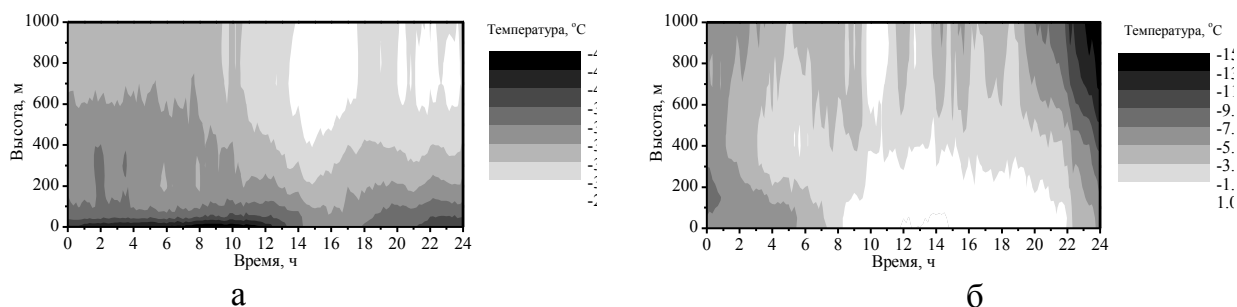


Рис. 13. Суточные вариации высотного профиля температуры: а) 13.12.2012 г., б) 26.01.2013 г.

Из рисунка 13 (б) и 14 (б)_ видно, что с начала суток до 8 ч отмечается приподнятая инверсия с постепенно снижающейся нижней границей от 200 м до поверхности земли мощностью 200–400 м и интенсивностью до 4°C. С 9 до 14 ч она становится более высокой с нижней границей до 500 м, мощностью 300–400 м и незначительной интенсивностью – от 0°C (изотермия) до 1,5°C. Начиная со второй половины дня, инверсия разрушилась. По профилю температуры видно, что суточный ход температуры нарушен (она растет, начиная с 0 ч, утренний минимум не выражен), рост температуры отмечается до 14 ч, что подтверждается синоптическими данными и условиями погоды.

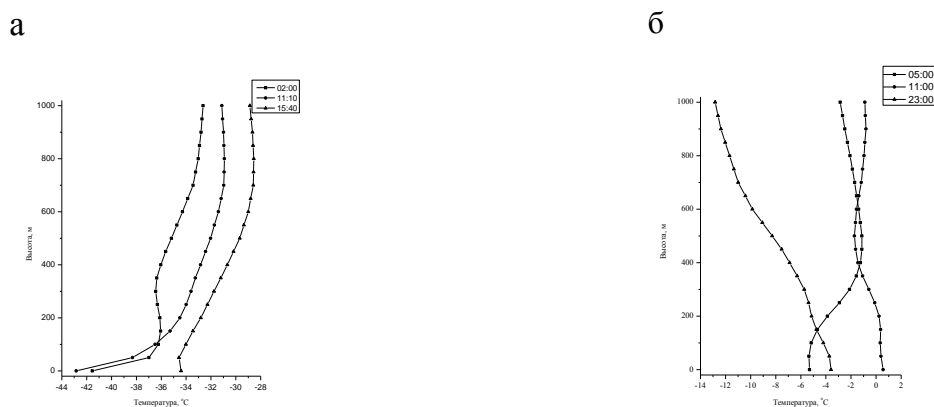


Рис. 14. Динамика профиля температуры, а. 13.12.2012 г., б. 26.01.2013 г.

Исходя из анализа профилей температуры, с привлечением погодных условий и синоптической обстановки, можно утверждать, что вертикальный профиль температуры обусловлен поступлением теплого воздуха примерно до 18–20 ч и небольшими суточными изменениями. После 20 ч отмечается постепенное пониже-

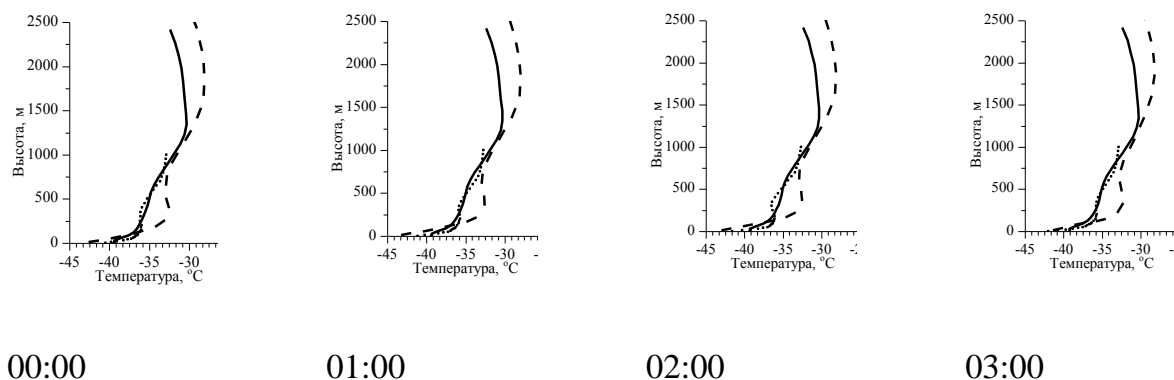
ние температуры, начиная с более высоких уровней (около 1000 м). Более холодный воздух постепенно перемещается вниз. К концу суток температура опустилась до -6°C , на верхней границе измерений – до -14°C .

Весь рассматриваемый период является опасным для возникновения обледенения как взлетно-посадочной полосы, так и самого самолета. Особенно неблагоприятным временем для обледенения взлетно-посадочной полосы считается период, когда температура в слое атмосферы от отрицательных значений переходит к положительным. Ливневые осадки (снег, перешедший в 15 ч в дождь), высокая влажность в атмосфере у земли в сочетании с переходом температуры от отрицательных значений к положительным способствовали более интенсивному обледенению. Как следует из рисунков 13 (б) и 14 (б) этот период продолжался приблизительно с 7 до 19 ч. По данным АМИС-РФ обледенение взлетно-посадочной полосы фиксировалось с 7 до 18 ч.

Кроме осадков и высокой влажности на обледенение самолета влияет наличие облачности. Измерения профиля температуры в аэропорту первой половине суток 26 января показывает, что в атмосфере наблюдался переход температуры от отрицательных значений к положительным, а по данным АМИС-РФ фиксировалась облачность и обледенение самолета на высоте 400–500 м. Ливневые осадки, усиление ветра и порывы до 20 м/с указывают на смену воздушных масс (прохождение фронта) после 18 до 24 ч. Вертикальный профиль температуры по МТП-5 в конце суток четко указывает время прохождения холодного фронта, начиная с 22 часов.

Прогностические расчеты были проведены на рассмотренные даты по двум мезомасштабным метеорологическим моделям высокого разрешения: TSU-NM3, разрабатываемой в ТГУ, и модели WeatherResearch&Forecasting (WRF).

а



б

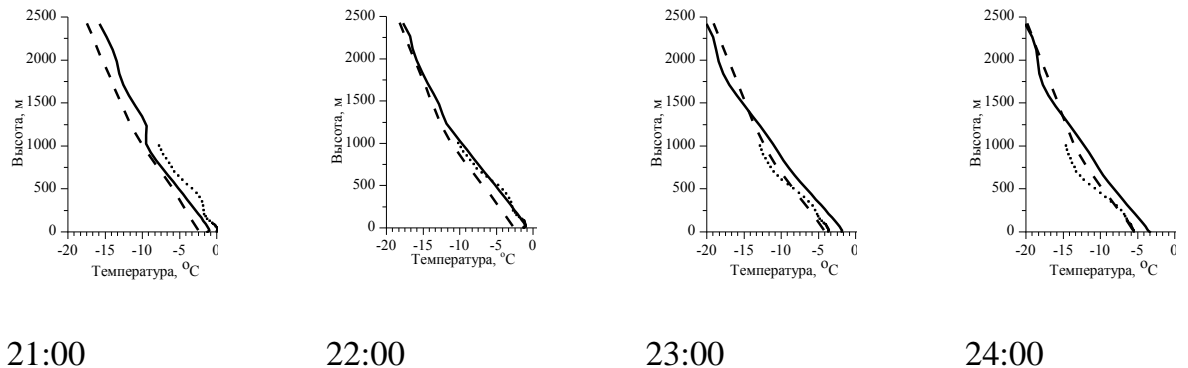


Рис. 15. Вертикальный профиль температуры над аэропортом Богашево во время сильного похолодания (а) и оттепели (б). Значки – измеренные значения, сплошная линия – расчет по модели TSU-NM3, штриховая – расчет по модели WRF.

При расчетах характеристик атмосферного пограничного слоя использовались результаты оперативного численного прогноза, полученные на основе глобальной модели Гидрометцентра РФ ПЛАВ. На рисунке 15 представлены вертикальные профили температуры в нижней части атмосферного пограничного слоя, измеренные температурным профилемером МТР-5 и рассчитанные на кластере ТГУ Cyberia с использованием рассматриваемых моделей.

Сопоставляя результаты расчетов с измерениями, можно отметить высокий уровень количественного и качественного совпадения результатов. Максимальное расхождение не превышает 3°C . Для сильного похолодания (рис. 15 а) и модели и наблюдения фиксируют наличие изотермического участка в распределении температуры на высоте 50–300 м над поверхностью Земли. При оттепели (рис. 15 б) график температуры почти линейен с высотой, как следует из результатов расчетов и измерений.

Проект VIII.77.1.3. Экосистемные процессы в Сибири под воздействием природных факторов регионального и глобального уровня.

1. Результаты многолетних экосистемных исследований показали, что территории, примыкающие к водораздельным болотам и дренированные приречные пространства, в разной степени фрагментированные болотами первичных понижений, являются особыми, динамично развивающимися природными системами (лесоболотными экотонами). Установлены законо-

мерные количественные связи гидрологических, почвенных и растительных компонентов в экотонах и выявлена определяющая роль гидрологического режима как главного системообразующего фактора определяющего развития природных процессов в направлении прогрессирующего заболачивания. Полученные закономерности являются необходимыми для оценки влияния климатических изменений на процессы развития заболоченных ландшафтов Западной Сибири.

Структура экотонов каждого из изолированных понижений отражает схему функциональных связей компонентов, обеспечивающих целостность системы и ее устойчивость. Элементами лесоболотного экотона служат его блоки, сменяющиеся в пространстве - от фоновых сообщества до сообществ с доминирующими болотными видами. Лесоболотные экотоны существуют за счет главного системообразующего фактора, обеспечивающего устойчивый механизм её самовоспроизводства - режима увлажнения.. Взаимосвязь фильтрационных способности почвогрунтов, морфологии западин, размеров ее водосборной площади, мощности органических горизонтов определяет закономерности функционирования западинных комплексов и устойчивость процессов гидроморфной трансформации ландшафта. На основе рассчитанных параметров ландшафтных условий и водно-физических свойств почв проведен анализ связи гидрологического, почвенного и растительного компонентов экотонных систем (рис.16)

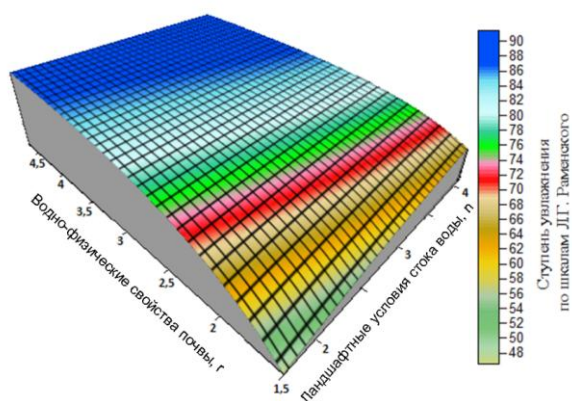


Рис. 16. Связь гидрологического, почвенного и растительного компонентов заболоченных ландшафтов юга таежной зоны. Соответствие фитоценозов ступеням увлажнения: 90 - ивняк сабельниковый; 88 - березняк осоково-сфагновый; 86-85 - ивняк мертвопокровный; 82-83 - березняк хвощевый; 80-81 - рослый рям; 78-79 - черемуховый папоротниковый, березняк хвощево-осоковый; 76 - березняк осоково-вейниковый; 74 - черемуховый мертвопокровный; 68 - осиново-березовый разнотравный.

На гидроморфных территориях фоновыми компонентами являются разнотравно-осочковые и разнотравные березовые и осиновые леса, под пологом которых идет восстановление темнохвойных пород. Болотный компонент представлен

рослыми рядами, с мощностью торфяной залежи от 60 до 140 см. Фитоценозы экотонов образуют в поле экологических координат довольно компактную группу в пределах 74,9-79,7 ступеней по фактору увлажнения и 5,4-8,4 ступеней по трофности местообитаний.

Особенностью ландшафтов дренированных территорий, сложенных лессовидными отложениями, является широкое распространение островных лесов, сохранившихся среди пашни в неудобных для освоения депрессиях рельефа. В центральной части западин создаются благоприятные условия для поселения влаголюбивых видов растений и формирования органогенных горизонтов. Особенностью дренированных территорий является формирование в неглубоких некрупных западинах усеченного спектра компонентов лесоболотного экотона, когда болотный элемент часто отсутствует. В этом случае центральная часть западин представлена чермуховыми мертвopoкpoвными зарослями, увлажнение которых соответствует переходу от влажнолуговой к сыролуговой серии местообитаний (74,4-81,3 ступени увлажнения).

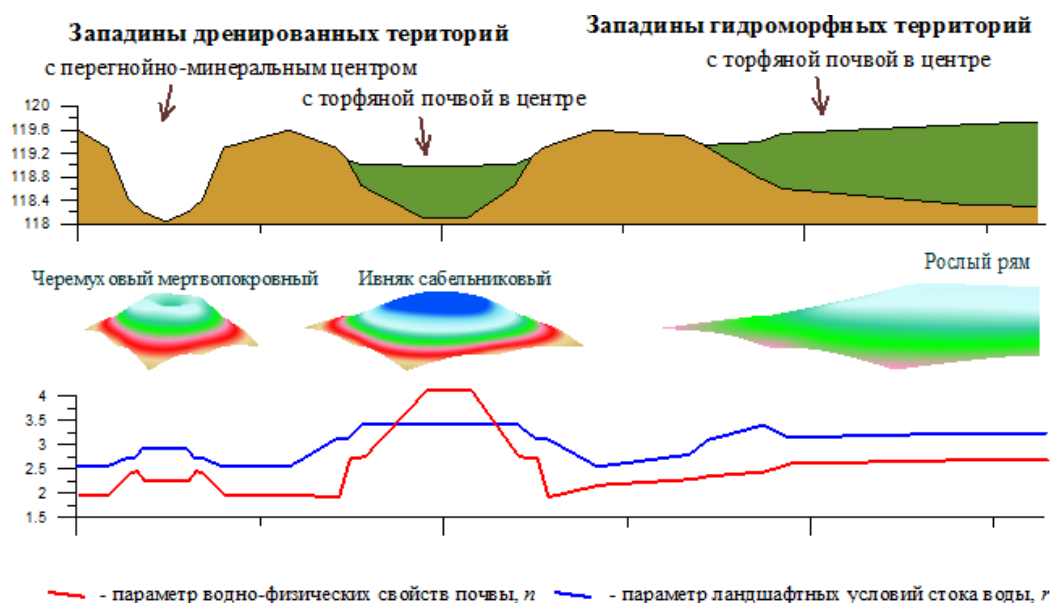


Рис. 17. Модели экотонов автономного заболачивания и распределение компонентов по экологическим градиентам ступеней увлажнения.

Параметр ландшафтных условий (r) учитывает гидравлические условия стока и отражает способность деятельного слоя почв сбрасывать избыточную влагу под действием сил гравитации. Параметр водно-физических свойств (n) - характеризует интегральную способность почв подводить влагу к испаряющей поверхности и расходовать её на испарение, ступени увлажнения - по структуре фитоценоза

Одной из задач анализа структуры экотонных систем автономного заболачивания является выявление роли почвенно-грунтового компонента и формы западин в обеспечении режима постоянного повышенного увлажнения. Графическое пред-

ставление данной связи наглядно отражает особенности сукцессионных рядов растительных сообществ, обусловленных повышением гидроморфности, в автохтонных западинах территорий. Градиент роста величины параметра водно-физических свойств отражает интенсивность перехода к более гидроморфным растительным сообществам в результате накопления в почве илистых частиц и её уплотнения. Рост градиента ландшафтных условий стока учитывает интенсивность гидроморфной трансформации почвы, и соответственно перехода к более гидроморфным растительным сообществам (рис. 17).

2. По результатам многолетних полевых исследований на молодых моренах Горного Алтая с разным мезоклиматом установлены закономерные связи сукцессионных процессов (хронологических последовательностей развития) с климатическими условиями. На моренах Северо-Чуйского хребта растительные сообщества развиваются от пионерных – к современным предшественникам лесного, лесотундрового и тундрового сообществ, а на моренах Южно-Чуйского хребта – высокогорно-степных сообществ.

Полученные закономерности являются перспективной эмпирической основой для моделирования взаимосвязи климатических и сукцессионных процессов на северных широтах Сибири.

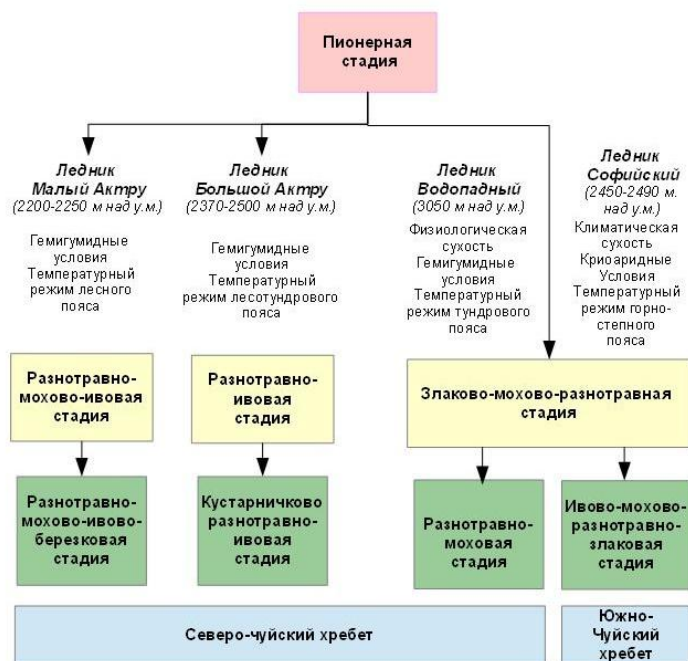


Рис. 18. Схема сукцессионных процессов в криогемигумидном (Северо-Чуйский хребет) и криоаридном макроклимате (Южно-Чуйский хребет)

На основании многолетних исследований на молодых моренах двух хребтов Алтая, различающихся своим макроклиматом: криогемигумидным на Северо-

Чуйском и криоаридным на Южно-Чуйском, в современную регрессивную фазу малого ледникового периода, выявлено 4 варианта путей сукцессии (рис. 18)

На Северо-Чуйском хребте, в зависимости от мезоклимата: горно-лесного, лесотундрового, горно-тундрового выявлены три варианта хронорядов, которые начинаются сходными во всех условиях пионерными группировками растений и заканчиваются предшестниками лесного, лесотундрового, горно-тундрового сообщества, в криоаридном макроклимате Южно-Чуйского хребта в условиях высокогорно-степного мезоклимата один вариант путей сукцессии (хронологических последовательностей).

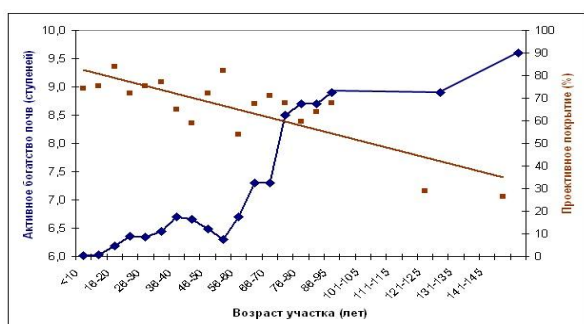


Рис. 19. Динамика проективного покрытия и богатства почв на молодых моренах ледника Малый Актру в условиях лесного мезоклимата (Северо-Чуйский хребет).

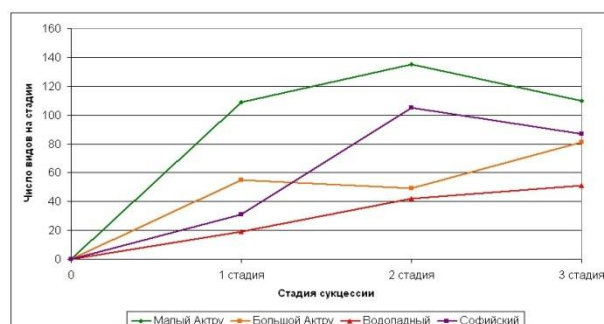


Рис. 20. Динамика числа видов сосудистых растений на разных стадиях сукцессии в условиях Северо-Чуйского и Южно-Чуйского хребтов

Выявлено, что сукцессия заканчивается формированием детерминированных макро- и мезоклиматом первичных растительных сообществ. На примере морен ледника Малый Актру установлено, что по мере увеличения возраста моренных отложений растет проективное покрытие растительности, и под ее воздействием снижается активное богатство почв (рис. 19, 20).

3.1. Выявлено, что современные спорово-пыльцевые спектры верно отражают состав продуцирующей их растительности на уровне подзон таёжной зоны и фитоценозов. Искажение пыльцевых спектров происходит в условиях отрицательных форм рельефа за счет избирательного разрушения пыльцы берёзы при повышенной карбонатности субстрата, а также при фрагментации лесного покрова в районах сельскохозяйственной освоенности территории (рис.21).

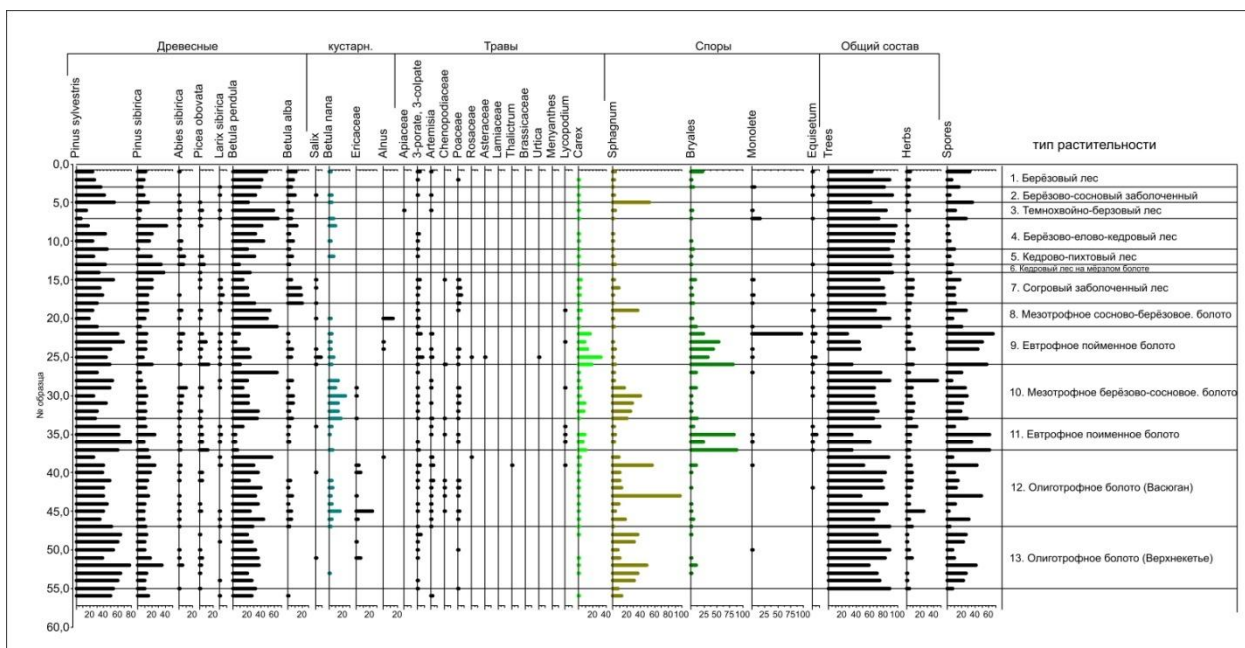


Рис. 21. Состав субрецентных спорово-пыльцевых спектров территории томской области.

Для исследования соответствия состава поверхностных пыльцевых спектров составу растительности было исследовано 70 субрецентных (поверхностных) спорово-пыльцевых спектров с поверхности болот разного типа и некоторых коренных и производных лесных формаций с территории томской области. Выявлено, что все спорово-пыльцевые спектры проявляют связь с теми растительными формациями, в которых они были отобраны. Так спектры из олиготрофных и мезотрофных болот отличаются завышенным содержанием пыльцы сосны, а в лесных спектрах завышено содержание пыльцы доминирующих в лесу пород. Однако связь древесных компонентов пыльцевых спектров с составом растительного покрова тем выше, чем менее нарушен сплошной лесной покров. Сравнение состава пыльцевых спектров из болот разного типа показало, что при переходе от мезотрофных болот к евтрофным резко изменяется спектр как в общем составе (увеличивается доля спор), так и в составе древесных компонентов (значительно сокращается доля берёзы) и травяно-споровых компонентов (доминируют споры зелёных мхов, папоротника, и пыльца осоки).

Наши данные показали, что резкое сокращение доли пыльцы берёзы в спектрах (несмотря на присутствие берёзы в растительном покрове) наблюдалось в пыльцевых спектрах из долины р. Оби (рис. 22). Мы связываем это с избирательным разрушением пыльцы этой породы в условиях повышенной карбонатности грунтовых вод в этом районе. Однако, высказанное предположение необходимо

проверить прямыми геохимическими исследованиями в различных формах мезорельфа долины р. Оби.

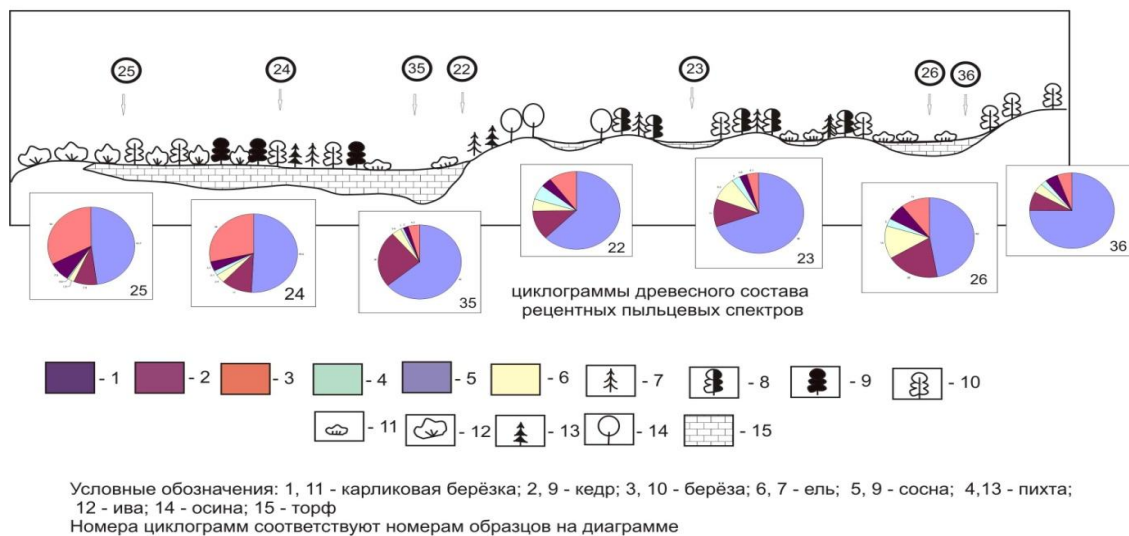


Рис. 22. Ландшафтный профиль через долину р. Оби с местами отбора рецентных споро-пыльцевых спектров и циклограммами состава пыльцевых спектров.

3.2. Исследования структуры сообществ раковинных амёб показали, что в современных болотных местообитаниях сообщества, содержащие виды из контрастных экологических групп, встречаются при среднем уровне обводненности на промежуточных формах микрорельефа болота. Причинами формирования таких сообществ могут быть не столько сезонные перепады УБВ, сколько резкие изменения влажности субстрата под действием выпадающих дождей, вариации в локальной увлажнённости поверхности болота, а также различия погодных условий отдельных вегетационных сезонов (рис. 23).

На современном этапе развития метода ризоподного анализа актуальным является вопрос экологической интерпретации комплексных сообществ раковинных амёб содержащих в равных долях виды из контрастных экологических групп: гидрофильных и ксерофильных. По мнению ряда исследователей (Bobrov et al., 2004; Schoning et al., 2005) такие сообщества формируются под влиянием сильных сезонных перепадов уровня болотных вод (УБВ). Весной в период максимальной обводненности развиваются гидрофилы, а в летнее время при падении УБВ – ксерофилы. Однако проведенные нами исследования сезонного развития сообществ раковинных амёб в условиях наиболее сильного перепада УБВ показали отсутствие выраженной тенденции смены гидрофильных видов ксерофильными в течение вегетационного сезона 2012 г

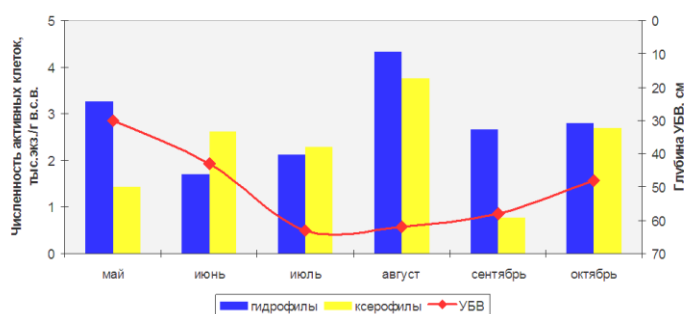


Рисунок 23. – Динамика численности живых раковинных амёб из разных экологических групп в течение вегетационного сезона 2012 года (на примере сфагнуовой кочки в сосново-кустарничково-сфагнуовом болотном сообществе). УБВ – уровень болотных вод.

Проект VIII.77.1.4. Быстро развивающиеся геоморфологические процессы в ледниковой и внеледниковой зонах юга Западной Сибири, обусловленные природно-климатическими изменениями.

Блок 1. Климатогенная структурно-функциональная трансформация горноледниковых бассейнов Горного Алтая.

Для изучения характера и закономерностей проявления быстро развивающихся геоморфологических процессов в пределах репрезентативных участков ледниковых и внеледниковых областей создана геоинформационная система «Быстро Развивающиеся Геоморфологические Процессы»

В качестве прикладного программного обеспечения использовались разработки фирм Petmar Trilobite Breeding Ranch[®] Microdem/TerraBaseII V16.0. Программное обеспечение Microdem/TerraBaseII является набором программных средств для создания и редактирования географических баз данных, для целей пространственного анализа, поиска, представления и управления данными. Программный комплекс Microdem/TerraBaseII предназначен для конечного пользователя и представляет собой простое и эффективное средство для доступа, визуализации и анализа данных геоинформационной системы.

Банк данных является информационной основой ГИС, его состав и организация определялись составом входных и выходных данных, необходимых для решения функциональных задач по теме базового проекта Лаборатории СГ.

Созданный банк данных ГИС обеспечивает выполнение основных функций системы: регистрацию, обработку, хранение, обновление и выдачу в заданной форме оперативных и архивных данных комплексного мониторинга района исследований. Банк данных ГИС состоит из картографической базы данных, состоящей

из совокупности цифровых карт: слоев топографической основы масштаба 1:25000, геологической карты (1:200000); тематических баз данных в формате DBASE, материалов дистанционного зондирования.

Все цифровые карты представлены в единой системе координат (WGS 84). Это позволяет совмещать различные цифровые слои и средствами ГИС получать выходные карты. Наличие цифровой основы разных масштабных уровней обеспечивает визуализацию и вывод данных в разных масштабах с нужной степенью генерализации, ускоряет процесс вывода карт на монитор при работе с оперативными данными. Цифровые картографические слои содержат атрибутивные таблицы, являющиеся компонентами базы данных. Совмещение данных картографического и атрибутивного типов достигается присвоением кодов объектов цифровой карты соответствующим записям тематических таблиц. Это позволяет обрабатывать запросы с одновременным привлечением картографических и атрибутивных данных, а также представлять результаты обработки запросов в виде картографических документов, тематическая нагрузка которых определяется содержанием атрибутивных таблиц. Векторные цифровые карты представлены в системе в формате Shape-файлов. Наличие цифровой топографической основы позволило привести к единой системе координат цифровые тематические карты и материалы дистанционного зондирования. В качестве цифровой модели рельефа используются сшитые планшеты Aster GDEM второго поколения.

Фактологические данные в ГИС представлены совокупностью отдельных тематических баз данных, атрибутивных таблиц цифровых слоев, справочников и классификаторов. Все фактологические данные представлены в системе в виде файлов формата DBASE. Структура тематических баз данных построена по реляционному типу.

В банк данных ГИС включены цифровые изображения полученные со спутников Landsat 8, Landsat 7 ETM+ (8 каналов), IKONOS 2, деклассифицированные изображения CORONA, геореферированные материалы отечественной аэросъемки.



Рис. 24 Тематическая структура ГИС

Геоинформационный проект «Лавины ГЛБ Актру»

Ледниково-эрозионный рельеф горно-ледникового бассейна Актру является одним из основных факторов, способствующих широкому развитию лавин. Местные геоморфологические условия благоприятствуют массовой концентрации снега на высоких уровнях скалистых склонов и отрицательных форм рельефа. Высокий коэффициент расчленения территории способствует быстрому смещению значительных масс снега в виде многочисленных лавин.

Анализ метеоданных и снегомерных съемок последних лет показывает, что в районе Географической станции Актру (2150 м. н.у.м) выпадает около 700 мм осадков в год. На склонах долины с высотами до 3000 м, где расположены основные очаги лавиноформирования, количество осадков возрастает до 1000 мм. Из этого количества на долю твердых осадков холодного периода приходится в среднем 400-500 мм. Для более пологих (20-40°) склонов левого борта долины мощность снежного покрова варьирует от 1 до 2 м, и, постепенно увеличиваясь с высотой, достигает 3 м. (рис. 25)

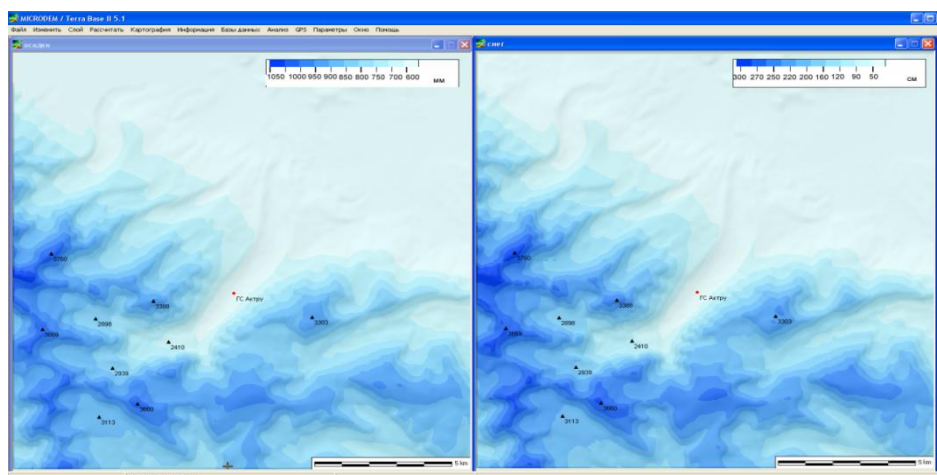


Рис. 25. Тематические слои «Осадки» и «Снежный покров» ГИС проекта «Лавины ГЛБ Актру»

В зимний период на склонах северной экспозиции (расположенных благоприятно по отношению к господствующим ветрам), вследствие метелевого переноса наблюдается перераспределение снега с последующей концентрацией в понижениях мезорельефа и зонах ветровой тени до 5-6 м, что в процентном соотношении может достигать до 40% от общего объема снега.

Основные результаты:

А. Исследованиями выявлены две зоны лавинного генезиса: 1.Гляциальная - зона ледников и крутых заснеженных склонов. 2.Перигляциальная – зона, примыкающая к гляциальной и охватывающая нижнюю часть горно-ледникового бассейна.

Б. Установлены три типа наиболее часто встречающихся лавин ГЛБ Актру:
1. Лавины лотковые, приуроченные к эрозионным и эрозионно-денудационным

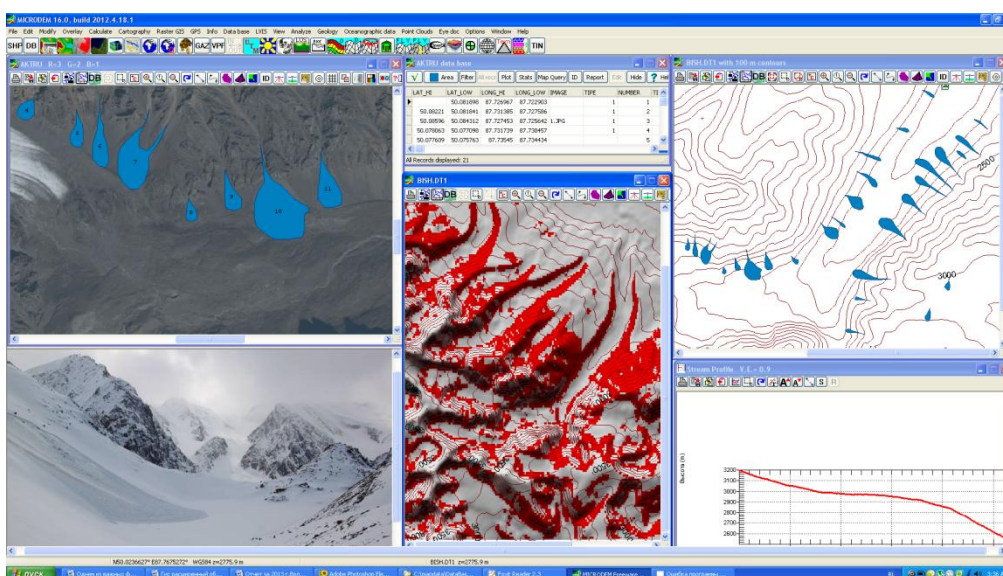


Рис..26. Фрагмент проекта «Лавины горно-ледникового бассейна Актру» с картой лавиноопасных склонов, лавинных очагов.

врезам правого борта перигляциальной зоны. 2. Лавины из разрушенных каров и висячих долин левого борта. 3. Прыгающие лавины эрозионно-лавиновых врезом гляциальной зоны.

Установлены наиболее важные факторы лавинообразования в ГЛБ Актру:

1. Перегрузка склонов снежными массами вследствие метелевого переноса, ведущая к формированию сухих лавин в конце зимнего – начале весеннего периода. 2. Обильные снегопады в весенний период, вызывающие сход лавин из свежеснежного влажного снега. 3. Резкие колебания температуры воздуха, действие ветра, разрушающие связи в снежной толще, приводящие к образованию лавин пластового типа из плотного сухого снега.

Блок № 2. Динамика энергомассообмена в геоморфосистемах юга Западной Сибири.

В ходе исследования были получены следующие результаты:

1) На основе методологии энергетического анализа функционирования геосистем определен концептуальный алгоритм оценки энергетических характеристик и состояния геоморфосистем горно-ледникового узла.

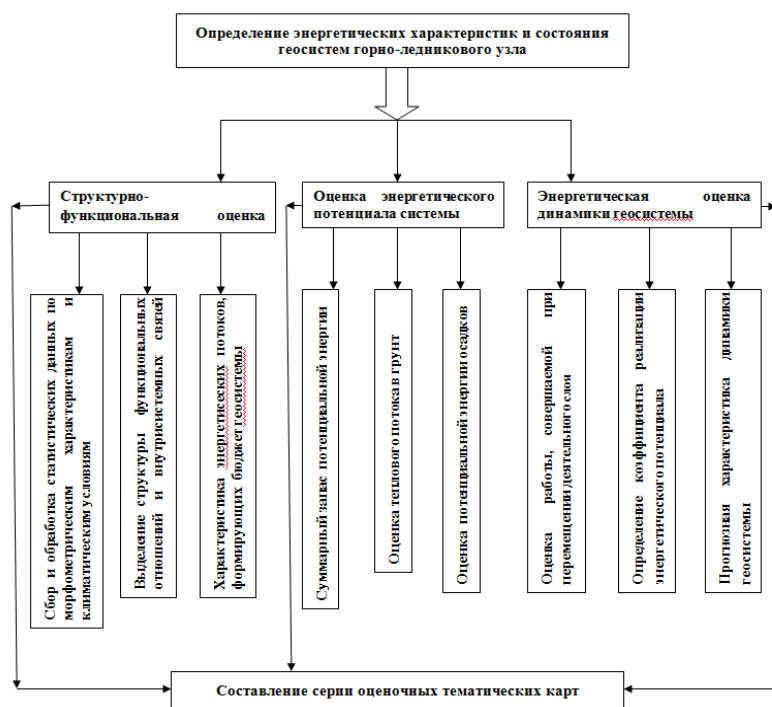


Рис. 27. Алгоритм оценки энергетических характеристик геосистемы

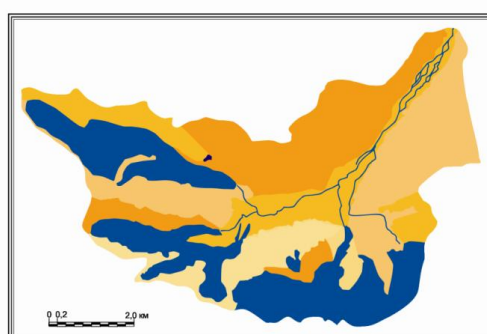
Алгоритм оценки включает три этапа, каждый из которых имеет собственную цель и состоит из определенного количества подпунктов; они могут быть ре-

лизованы самостоятельно и в то же время являются частью комплексной оценки энергетического состояния геосистемы.









2) На примере горноледникового бассейна р. Актру определена количественная характеристика энергетического потенциала – плотность гелиоресурса (МДж/м²) на исследуемой территории.

С использованием крупномасштабной топоосновы, данных космической съемки высокого разрешения, материалов инженерно-геоморфологических исследований и проведенных расчетов осуществлено районирование данной территории бассейна по величине гелиоресурса в зависимости от свойств поверхности и геоморфологических особенностей.

Разработанная методика районирования территории позволила выделить 5 районов по величине гелиоресурса. Установлено, что максимальные величины со значением более 100% от количества солнечной энергии, приходящего на горизонтальную площадку, соответствуют участкам рельефа южной, юго-западной, юго-восточной экспозиции с углами наклона от 20° до 35°; минимумы приурочены к крутым склонам (более 25°) северной, северо-восточной экспозиции – с увеличением угла наклона значение приходящей солнечной энергии резко сокращается. Наиболее равномерно значения гелиоресурса распределяются в июле по пологим склонам независимо от экспозиции. Проведенные расчеты позволили также установить, что 68% площади исследуемой территории получает солнечной энергии более 100% от количества, приходящегося на горизонтальную площадку, что является одним из главных факторов, обеспечивающих интенсивность современных экзогенных процессов в горно-ледниковом бассейне



УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

Плотность гелиоресурса (МДж/м ²)		
	< 1000	 Реки, ручьи
	1000 - 1300	 Ледники
	1300 - 1500	 Озёра
	1500 - 1700	
	> 1700	

3) Оценка энергетического потенциала горно-ледниковых узлов Алтая на периоды климатических экстремумов XX столетия

1. Уточнена составленная ранее ландшафтная карта бассейна р. Актру м 1:25000
2. Проведен сбор фактического материала по определению биопродуктивности растительного покрова в различных геосистемах. В обобщенном виде биомасса и биопродуктивность имеют следующий порядок:

Таблица 1.

Биомасса (Б) и биопродуктивность (П) зональных ландшафтов, ц/га

Ландшафты	Б	П
Тундра	280	25
Средняя тайга	2600	70
Южная тайга и смешанные леса	3000	75
Широколиственные леса	4000	130
Типичная степь	200	80
Сухая степь	140	50
Полупустыня	120	40
Пустыня умеренного пояса	45	15
Пустыни субтропические и тропические	15-20	10
Вечнозелёные влажные и тропические леса	6500	300

Проведена типизация ландшафтов бассейна р. Актру по биомассе, результаты введены в ГИС. Получены данные по энергетической ёмкости древесины 13-15 МДж/кг и лугового сена 18,0 МДж/кг (по данным Malarme D., Van Koninckxloo M., 1982) для перехода от весовых значений биомассы к энергетическим. Получены предварительные данные по поступлению энергии биомассы в почвы:

Таблица 2

Количество энергии, поступающей с растительным опадом

Типы растительности и почв	Количество энергии, поступающей с опадом, кДж/см в год	
Арктические тундры, тундровые почвы	126.	..168
Хвойные леса, подзолистые почвы	419.	..838
Широколиственные леса, серые лесные почвы	1048.	..1258
Луговые степи, черноземы	1676..	..2095
Сухие степи, каштановые почвы	629..	..838
Пустыни, серо-бурые почвы	126..	..210

Получены количественные данные по исследуемой территории в ходе полевых работ 2013 г. Описано 45 точек наблюдения в лесостепной зоне бассейна р.

Актуру. Рассчитан энергетический эквивалент растительности ландшафтов степной и лесостепной зон.

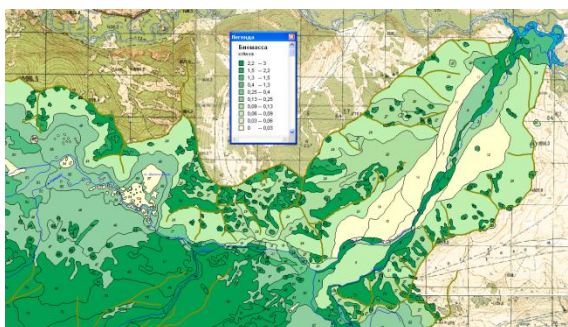


Рис. 28. Показатели биомассы растительности ($\text{кг}/\text{м}^2$) в лесостепной зоне бассейна р. Актуру.

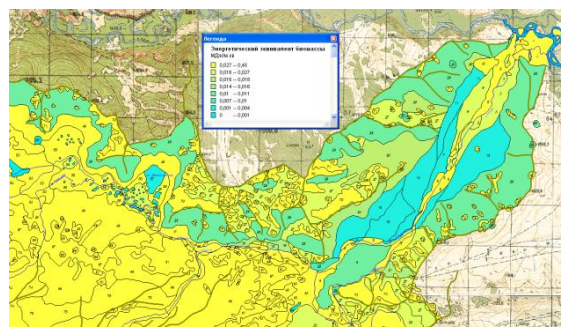


Рис. 29. Энергетический эквивалент биомассы растительности ($\text{МДж}/\text{м}^2$) в лесостепной зоне бассейна р. Актуру.

3. Диагностика природных опасностей, инициируемых климатическими изменениями.

3.1. В рамках ГИС-проекта «Динамика опасных природных процессов на территории Томской области» формируется база данных, включающая наиболее репрезентативные показатели природных опасностей, воздействующих на сферу природопользования за период с 1972 по 2013 гг. На основе базы данных апробируются методики оценки рисков природопользования.

Сфера природопользования, являясь непосредственным потребителем ресурсов природной среды, во многом зависит от условий этой среды. Наличие опасных для природопользования процессов может нанести непоправимый экономический и экологический урон. Сильный ветер, создающий лесоповалы на значительных площадях; обильные продолжительные осадки, размывающие почвенный плодородный слой; высокие летние температуры, повышающие пожароопасность – вот перечень лишь некоторых факторов, способных увеличивать степень природной опасности. Под *природной опасностью* подразумеваются изменения состояния окружающей среды, обусловленные естественными природными процессами и приводящие к негативным последствиям для жизнедеятельности человека. Знание динамики опасных природных процессов в определенной степени помогает прогнозировать наступление опасных событий, что дает возможность разрабатывать превентивные меры защиты от их воздействия.

Современным инструментом визуализации динамики опасных процессов является их картографирование в среде ГИС-технологий. Электронные базы данных обладают гибкостью и легкостью при отображении изменяющихся во времени опасных природных процессов, они помогают быстро и наглядно представлять на

карте полученные результаты. Картографическая визуализация этой динамики дает наглядное представление о направленности природных процессов и может помочь избежать ряд негативных последствий для сферы природопользования.

Под региональным ГИС-проектом «Динамика опасных природных процессов на территории Томской области» понимается компьютеризированная система сбора, систематизации, хранения, обработки, отображения и распространения пространственно-временных данных, отражающих негативное влияние природно-климатических факторов на сферу природопользования, что позволяет выработать основные регламентирующие требования к формированию стратегии природопользования.

В предлагаемом исследовании создание пространственной модели динамики опасных процессов в среде ГИС-технологий включает в себя несколько этапов: 1) сбор статистического материала по отобранными показателями опасных природных процессов, характерных для Томской области; 2) создание атрибутивных таблиц, включающих необходимые поля; 3) наполнение таблиц собранной информационной базой; 4) пространственная визуализация информации; 5) районирование территории по видам природных опасностей.

Созданный нами банк данных ГИС состоит из: материалов дистанционного зондирования; слоев топографической основы масштаба 1:500000; атрибутивных таблиц, содержащих показатели, характеризующие опасные для природопользования явления: низкие и высокие температурные поля, обильные осадки, интенсивность ветровой и ливневой деятельности и т.п. В основу исследования положены статистические данные за последний 40-летний период, они пространственно привязывались к местоположению метеостанций и гидропостов.

В целом, пространственно-временной анализ, проведенный с использованием ГИС-технологий и методик оценки опасностей для природопользования, говорит об увеличении степени опасности ряда исследуемых природно-климатических явлений на территории области. Так, на рисунке 30 показан пример районирования территории области для аграрного природопользования на основе оценки динамики количества дней с влажностью воздуха менее 30% по линейному отклонению от среднего уровня за период с 1972 по 2013 гг. Отмечается устойчивый рост количества засушливых дней в вегетационный период на востоке Тегульдетского, Первомайского районов, в западной части Парабельского и Каргасокского районах области.

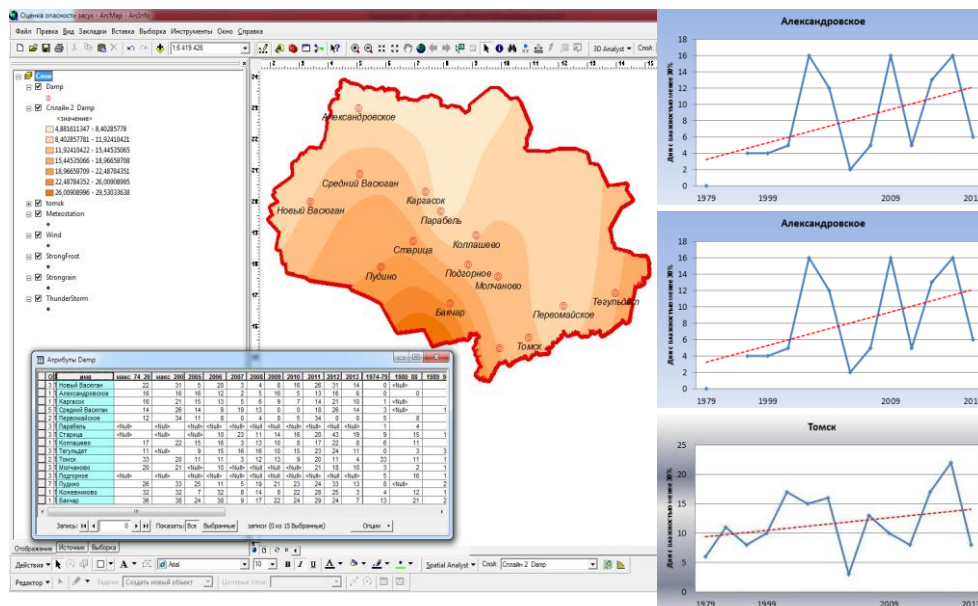


Рис. 30. Динамика степени опасности засушливых дней с влажностью менее 30% в Томской области за период с 1972 по 2013 гг.

3.2. Совместно с лабораторией мониторинга лесных экосистем ИМКЭС СО РАН апробирована методика оценки рисков лесопользования, вызванных массовым размножением инвазийного вредителя пихты сибирской уссурийского полиграфа *Polygraphus proximus* Blandf в зависимости от погодно-климатических условий.

Проанализированы основные факторы, обуславливающих распространение нового вредителя леса в Томской области – одном из регионов-реципиентов инвазии, и проведено районирование лесной территории области по степени опасности его распространения, как первый этап в разработке подходов к оценке рисков и управлению ими в системе регионального лесопользования.

Процедура комплексной оценки опасности возможного распространения (ОВР) состоит из двух этапов: 1) определение балльного значения (от 0 до 3) по каждому фактору ОВР в зависимости от степени интенсивности; 2) установление значимости каждого показателя ОВР по результатам экспертных оценок в виде весовых коэффициентов в интервале [0; 1], при сумме всех коэффициентов, равной 1 по формуле:

$NF = 0,20N_1 + 0,20N_2 + 0,17N_3 + 0,15N_4 + 0,10N_5 + 0,08N_6 + 0,05N_7 + 0,05N_8$, где NF – комплексный показатель ОВР, $N_1, N_2, N_3, N_4, N_5, N_6, N_7, N_8$ – факторы ОВР в баллах.

В таблице перечислены показатели, характеризующие опасность возможного распространения *P. proximus* в порядке их значимости.

Для корректной оценки влияния каждого из перечисленных показателей на комплексный показатель ОВР разнородные количественные значения переведены в баллы от 1 до 3 на основании оценочной шкалы (см. таблицу).

Информационно-аналитическая база проводимого исследования основывалась на данных экологического отделения ИМКЭС СО РАН, Департамента лесного хозяйства Томской области, Томского центра защиты леса, на материалах Лесного плана Томской области на 2009-2018 гг. Для описания природных опасностей использовались данные метеонаблюдений за период 1976-2012 гг. по 21 метеостанции, расположенных на территории области. Дополнительно, в ходе сбора материала лабораторией мониторинга лесных экосистем ИМКЭС СО РАН, были проведены собственные полевые и экспериментальные исследования, позволившие более полно и достоверно описать районы инвазии.

Картографическое отображение и формирование базы ГИС-данных проводилось в среде пакета Mapinfo. Создание базы данных по перечисленным показателям позволяет оперативно отслеживать и отражать на карте динамику распространения полиграфа и степень его воздействия на пихтовые леса Томской области.

Шкала экспертных оценок степени воздействия факторов,
способствующих распространению уссурийского полиграфа

Факторы ОВР	Показатели	Значения показателя	Баллы
N ₁	Площадь очагов массового размножения вредителя, га	1 – 49	1
		50 – 100	2
		более 100	3
N ₂	Степень повреждения насаждений в очаге, % заселенных деревьев	10-20%	1
		21-30%	2
		более 30%	3
N ₃	Расстояние от очага до незараженных пихтовых лесов, км	более 100	1
		50 – 100	2
		0 – 49	3
N ₄	Степень потенциальной пожароопасности в лесах	низкая	1
		средняя	2
		высокая	3
N ₅	Близость пихтовых лесов к транспортным путям, местам заготовки и переработки древесины, км	более 100	1
		50 – 100	2
		0 – 49	3
N ₆	Погодный оптимум в период активного размножения, кол-во дней без осадков с t более 15°C	0 – 10	1
		10 – 20	2
		более 20	3
N ₇	Территории возможного заселения полиграфа с учетом преобладающего направления ветра	соседи 2-го порядка	1
		соседи 1-го порядка	2
		очаг	3
N ₈	Среднегодовое количество дней с ветром 15 м/с и более	0 – 4	1
		5 – 9	2
		более 10	3

Предлагаемая методика применима для других субъектов Российской Федерации с учетом специфики местных условий природопользования. Концептуаль-

ный подход к оценке опасности для лесопользования от распространения уссурийского полиграфа также может быть адаптирован и применен для других видов инвазивных вредителей.

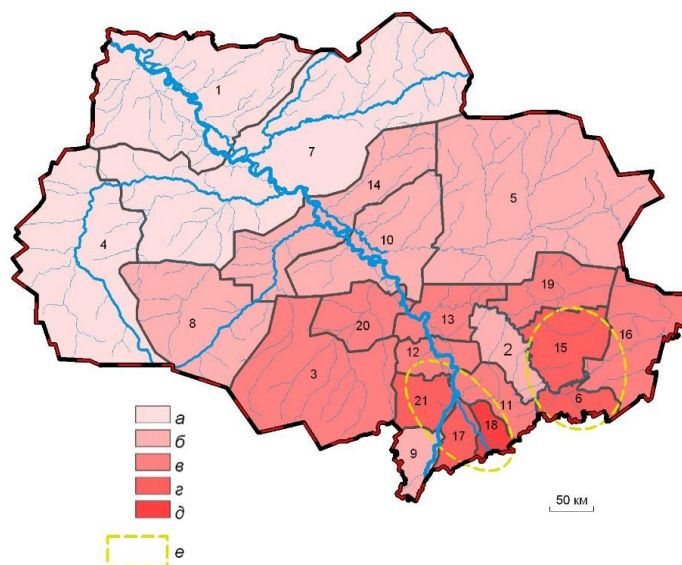


Рис. 31. Пространственное распределение возможности распространения уссурийского полиграфа.

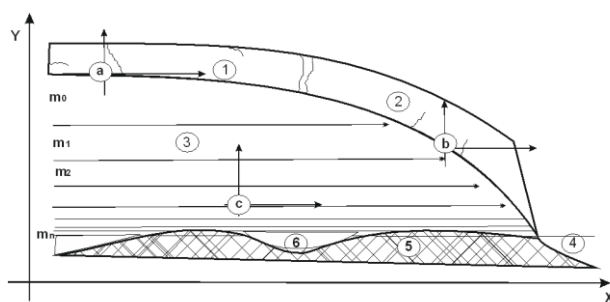
Лесничества: 1 – Александровское, 2 – Асиновское, 3 – Бакчарское, 4 – Васюганское, 5 – Верхнекетское, 6 – Зырянское, 7 – Каргасокское, 8 – Кедровское, 9 – Кожевниковское, 10 – Колпашевское, 11 – Корниловское, 12 – Кривошеинское, 13 – Молчановское, 14 – Парабельское, 15 – Первомайское, 16 – Тегульдетское, 17 – Тимирязевское, 18 – Томское, 19 – Улу-Юльское, 20 – Чаинское, 21 – Шегарское.
Степень опасности распространения полиграфа: а – низкая, б – ниже средней, в – средняя, г – выше средней, д – высокая. е – очаги возможного распространения полиграфа.

ем.

Динамика систем с насыщением

Введение. Нами ранее было показано, что стремление к достижению состояния динамического равновесия, наблюдаемое во всех самоорганизующихся системах [1988, 1990, 2007 и др.], сопровождается процессами насыщения, характеризующимися в кибернетике как *заданное состояние* (предельное насыщение).

1. Закономерности самоорганизации и динамики геосистемы «ледниковый щит»



Авторское определение понятия «самоорганизация геосистем»: *Самоорганизацией называется самопроизвольно протекающий процесс кооперации элементов, ведущий к образованию структур, способных к самосохранению.*

Определены «элементы», составляющие гляциальную геосистему и начальные условия формирования геосистемы «ледниковый покров». Ими являются:

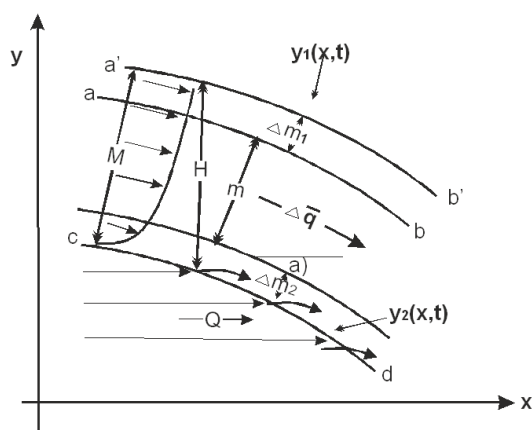
- базисная поверхность, на которой формируется ледовый покров; она горизонтальна, и ее уклон α не меняется в течение всего характерного времени формирования геосистемы - $dH/dx=0$;

- постоянство во времени климатических условий внешней среды. Предполагается, что количество приносимых осадков к леднику от его морфометрических характеристик не зависит, но меняется только в пределах территории самой геосистемы, в связи с изменением ее размеров.

Самоорганизующаяся гляциальная геосистема, как и все другие типы геосистем, развивается с насыщением - у нее имеются ограничивающие, демпфирующие ее формирование пределы по всем морфометрическим параметрам.

Условия развития системы называются свободными, если она не ограничивается действием каких-либо сил или пограничных тел иного рода. Иначе говоря, размеры ее базисной поверхности беспредельны, изменяются только ее морфометрические характеристики и пространственно-временные координаты.

Авторское определение «емкости среды», в которой формируется ледниковый щит. Емкостью среды является хиносфера - для ледниковых щитов (покровов) и ледников в целом; это площадь территории суши, в пределах которой сумма отрицательных температур и количество осадков достаточны для накопления льда (снега, превращающегося в фирн и лед).



ма отрицательных температур и количество осадков достаточны для накопления льда (снега, превращающегося в фирн и лед).

Характеризуются особенности авторегуляции в формировании и развитии ледникового покрова. Саморегулирование в динамике ледового покрова осуществляется по схеме: увеличение

высоты поверхности $dy/dt=kdm/dx$ → уменьшение количества выпадающих осадков q мм/год → уменьшение величины прироста толщины льда Δm . Процесс направлен к достижению баланса между $+\Delta m(t)$ и $-\Delta m(t)$, что обусловлено действием обратной связи между размерами щита (его абсолютной высоты и площади поверхности), температурой и количеством выпадающих осадков.

Дана характеристика впервые выделенного автором «конвейерного типа движения поверхностного слоя льда».

Принципиальная схема динамики ледника показана на рисунках.

Динамика слоя льда (его толщины по профилю) на наклонной ледовой поверхности в общем виде характеризуется уравнением:

$$dM/dt = -kdy/dt - \nabla \bar{q},$$

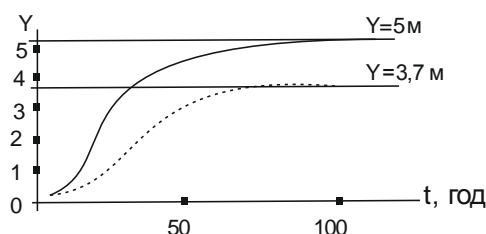
Уравнение для нахождения скорости v_l движения слоя льда:

$$v_1(m) = \int_0^m [\rho g(M - m) \sin \alpha - \tau] dm / \eta.$$

Практическая значимость: результаты исследования расширяют знания о динамике ледников, в том числе горно-долинных, и представляют общеметодологическую ценность для системной характеристики геосистем. Прикладное значение разработанной модели состоит в возможности составления численного прогноза динамики горно-долинных ледников Горного Алтая и др. районов горного оледенения.

2. Динамика с насыщением геосистемы «пойма реки»

Динамика поймы неразрывна с динамикой русла. Пойма формируется в случае одновременного горизонтального и вертикального смещения русла реки: $Y = Y(x, y)$, где x, y – горизонтальная и вертикальная координаты, Y – высота поймы. $Y_n(t) = Y_n^0 + N_0 m$, и при этом с увеличением высоты количество паводков изменяется во времени пропорционально разности предельной высоты поймы (Y_m) и высоты ее в данный момент времени $Y_n(t)$: $dN/dt = \alpha [Y_m - Y_n(t)]$.



Уравнение динамики продолжительности затопления поймы, в зависимости от ее предельной высоты и высоты в данный момент:

$$Y(t) = Y_m - \exp(-\alpha m(t - t_0)) \cdot (H_n - H_0)$$

По этой формуле можно рассчитать продолжительность затопления поймы в заданный момент времени в любой точке поверхности поймы.

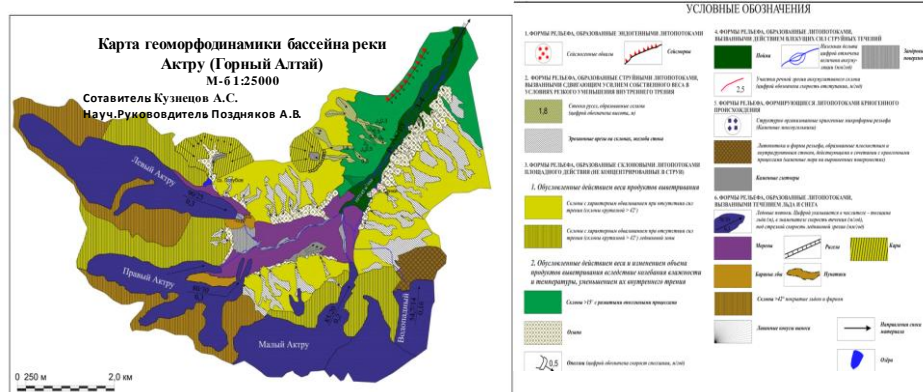
Прикладное значение: может быть внедрена для прогнозирования затопления поймы на участках ее хозяйственного использования; в планировании сельскохозяйственного использования пойменных земель.

3. Исследования по разработке легенды и пояснительной записки к картам геоморфодинамики м-ба 1:25000 – 1:500000 для всех генетических типов форм рельефа суши

Завершена работа по подготовке к изданию *новой* легенды и пояснительной записки. Обязательным требованием к характеристике литопотоков является определение расхода вещества на единицу площади поверхности. В пояснительной записке к легенде указываются основные методы определения расходов вещества в литопотоках, в том числе с учетом фрактальных закономерностей рельефа (см. ниже). Расходы: это объем вещества земной коры на единицу площади, выводимый в сферу гипергенеза, $m^3/1000$ лет (слой, лежащий на базисной поверхности; определяется по глубине и средней скорости врезания рек); объем вещества земной коры, выведенный в сферу эрозионной деятельности, заключенный между поверхностью геоида и базисной поверхностью, m^3 на единицу площади (объем вещества, необходимый для самоорганизации эрозионных процессов);

объем вещества земной коры, выведенный в сферу гипергенеза на единицу площади, m^3 - объем, заключенный между базисной поверхностью и вершинной (определяется вычитанием из общего объема всех долин и впадин); это количество вещества, необходимого для самоорганизации пространственного перераспределения продуктов выветривания денудационными процессами; объем продуктов выветривания Q , денудируемых с единицы площади, $m^3/год$; определяется произведением мощности m денудируемого слоя на площадь S поверхности рельефа: $Q=mS_0 / \cos\alpha$.

Практическая значимость: результаты исследования относятся к категории высокой практической значимости. Составление карт геоморфодинамики в соответствии с предлагаемой методикой, является обязательным для районов нового хозяйственного освоения, развития транспортной инфраструктуры (включая трубопроводный транспорт) и пр.



4. Фрактальный анализ геометрии эрозионного рельефа

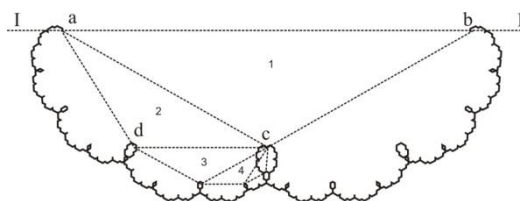
Основные выводы

Фрактал эрозионного рельефа позволяет определить площадь поверхности по трем параметрам: по площади основания рельефа, средней крутизне и числу генераций склонов. Установлена ранее неизвестная закономерность, согласно которой изменение наклона β склонов эрозионных форм рельефа зависит от уклона i соответствующего тальвега долины:

$$\beta = \frac{1}{2} \arccos(\cos^2 \alpha - \sqrt{\cos^4 \alpha - \cos 2\alpha + 4 \cos^2 \alpha \sin^2 i})$$

В соответствии с данной закономерностью, площадь S поверхности рельефа, независимо от густоты и глубины эрозионного расчленения, определяется соотношением: $S = S_0 / \cos^n \alpha$.

На рисунке показан авторский фрактал эрозионного рельефа, представляющего 9 генераций склонов.



Практическая значимость: данная закономерность позволяет определить суммарный объем Q денудируемых продуктов выветривания горных пород с заданной площади поверхности $Q = HS_0 / \cos^n \alpha$, необходимый при поисках россыпных месторождений полезных ископаемых и в геоморфологическом и палеогеографическом анализе; кроме того, знание этой закономерности необходимо для количественной оценки процессов энергомассообмена на сложнорасчлененной поверхности Земли.

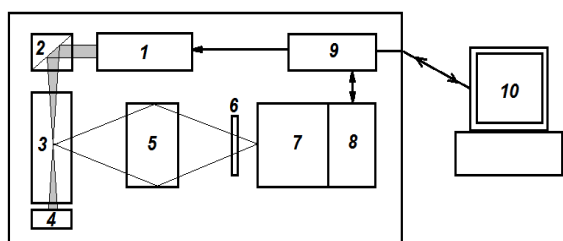
Определены задачи дальнейших исследований: на основе выявленных фрактальных закономерностей возможна разработка методов составления специализированных карт – *фрактальных карт*. Дальнейшие исследования по данному направлению требуют привлечения дополнительных интеллектуальных сил и материальных затрат. Таковыми в настоящее время лаборатория не располагает.

Значимость исследований прогнозируется как исключительно высокая, вполне соответствующая международному уровню исследований в данном направлении.

Проект VIII.80.1.2. Научные основы создания новых газоаналитических приборов и методик их использования для мониторинга окружающей среды и специального контроля

- **Блок 1. Проведение лабораторных испытаний макета СКР-газоанализатора для определения компонентного состава газовых сред высокого давления.**

Макет СКР-газоанализатора (рис. 32), созданный при выполнении предыдущего проекта VII.66.1.2, подвергался лабораторным испытаниям с целью проверки правильности выбранных технических решений и отработки теоретических основ методики расчета компонентного состава газовых сред высокого давления.



Блок-схема: 1 – лазер, 2 – поворотная призма и фокусирующая линза, 3 – кювета высокого давления, 4 – поглощающая ловушка, 5 – фокусирующая система, 6 – светофильтр для подавления лазерного излучения, 7 – спектральный прибор, 8 – ПЗС-матрица, 9 – блок управления, 10 – компьютер



Внешний вид макета

Рис. 32. Макет СКР-газоанализатора

По результатам испытаний лабораторного макета выявлены недостатки разработанной конструкции. Для обеспечения стабильности положения изображения рассеивающего объема на входной щели спектрального прибора необходимо усилить жесткость конструкции и ввести термостабилизацию ряда элементов. Работы будут продолжены в 2014 г.

Разработаны теоретические обоснования определения компонентного состава газовых смесей высокого давления методом СКР с учетом "неидеальности" газов и влияния фактора внутреннего поля молекул, находящихся при повышенном давлении. Разработан проект методики расчета компонентного состава для газовых сред высокого давления.

Особенности разрабатываемой методики. Для уменьшения погрешностей необходимо:

- учитывать увеличенную концентрацию газовой смеси ($p \geq 30$ атм);
- вводить поправку на "неидеальность газа" – зависимость от давления и температуры газовой смеси;
- учитывать влияние фактора внутреннего электромагнитного поля рассеивающих молекул в плотной газовой среде;
- создать банк спектров СКР эталонных газов при определенной температуре и давлении, при которых будет проводиться измерение концентрации компонентов сложной газовой смеси.

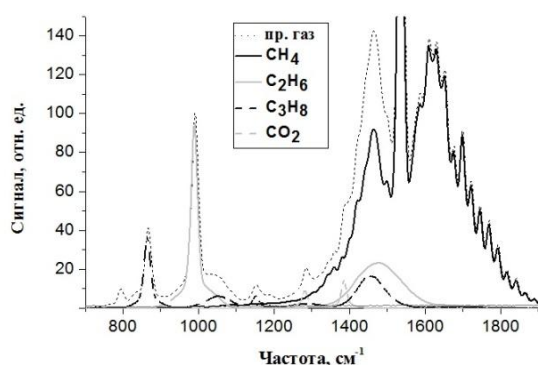


Рис. 33. Пример разложения компонентного состава природного газа по входящим компонентам

Достоинством создаваемой методики должно быть исключение из расчетных соотношений следующих характеристик газоанализатора: величины рассеивающего объема; телесного угла сбора рассеянного излучения и направления поляризации лазерного излучения; поляризационных характеристик спектрального прибора.

Полученные результаты будут использоваться при разработке программного обеспечения для СКР-газоанализаторов, работающих с газовыми средами высокого давления, с целью уменьшения погрешностей проводимого газоанализа.

- **Субблок 2а.** Исследование возможности использования поперечного эффекта Зеемана в ртутных лампах с естественным изотопным составом. Выбор оптимального типа ФПУ для длины волны 254 нм.

Для исследования возможности использования поперечного эффекта Зеемана в капиллярных ртутных лампах ($\varnothing 3,5$ мм) с естественным изотопным составом, изготовленных на предприятии в г. Саранске, разработаны два типа высокочастотных (150-200 МГц) источников питания с емкостной и индукционной связью с нагрузкой.

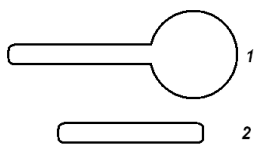


Рис. 34. Виды испытываемых ламп: 1 – с дополнительным объемом в виде шара, 2 – без дополнительного объема

Проведены испытания стабильности работы двух типов ртутных ламп (рис. 34) в зависимости от режимов и параметров поддержки газового разряда и изменения температуры окружающей среды. Снята зависимость абсорбционного сигнала от питающего напряжения для ртутных ламп без магнитного поля. При этом было установлено, что стабильность разряда более высокая для ламп без дополнительного объема.

Изготовлен магнит с индукцией постоянного магнитного поля $B = 1,5$ Тл. Теоретически рассчитанный спектр в магнитном поле представлен на рис. 35. Показаны σ^- , σ^+ и π компоненты спектра в магнитном поле с $B = 1,5$ Тл и контур линии всех изотопов ртути в области 254 нм (1). Подготовлен макет блока для проведения измерения зависимости абсорбционного сигнала для ртутной лампы в магнитном поле.

Собран макет спектрометра высокого разрешения на основе интерферометра Фабри-Перо для исследования Зеемановских спектров ртутных ламп.

Разработана эскизная конструкторская документация лабораторного макета для оценки параметров и проверки технических решений газоанализатора, касающихся его рабочих характеристик, условий эксплуатации и конкурентоспособности.

Наиболее чувствительным фотоприемником для заданного диапазона длин волн остаются фотоэлектронные умножители. На основе «солнечнослепого» ФЭУ-142 разработано фотоприемное устройство (ФПУ), которое по своим опико-электронным характеристикам полностью соответствует требованиям для использования в составе ртутного газоанализатора. Однако ФЭУ-142 в настоящее время в России не выпускается, а зарубежные аналоги значительно дороже. Кроме того, габаритные размеры такого ФПУ (особенно с учетом высоковольтного питания) достаточно велики.

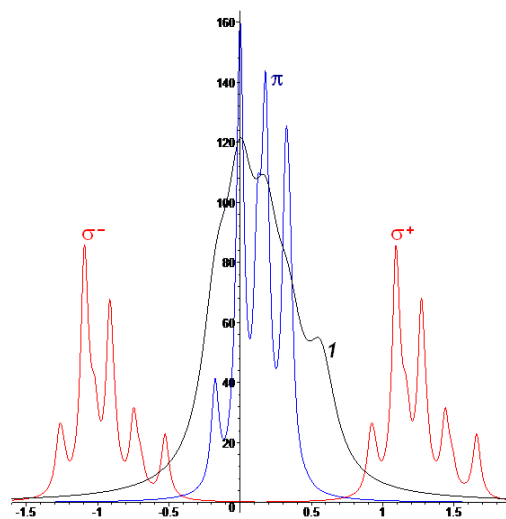


Рис. 35. Теоретически рассчитанный спектр в магнитном поле с индукцией 1,5 Тл

Как альтернатива ФЭУ, на основе полупроводникового фотодиода разработано ФПУ, которое по чувствительности уступает, однако по всем остальным параметрам (энергопотребление, габариты, стоимость) значительно превосходит ФПУ на основе ФЭУ.

- **Субблок 2б.** Анализ схем и исследование влияния структурных элементов газоанализатора, реализующего метод дифференциальной оптической абсорбционной спектроскопии (ДОАС).

Проводились работы по изучению способов повышения чувствительности метода ДОАС (работы выполнялись совместно с кафедрой ОЭПиДЗ НИ ТГУ) на экспериментальном образце прибора (рис. 36).

В основе метода ДОАС лежит разделение спектра на плавно меняющуюся и дифференциальную части. Дифференциальная часть сравнивается со спектрами поглощения газовых компонент, заложенных в базе данных прибора.

Необходимо отдельно регистрировать референтный спектр ксеноновой лампы и использовать этот спектр в процессе обработки сигналов. Дополнительная сложность заключается в том, что при регистрации как референтного, так и атмосферного спектров возникают паразитные структуры в самом спектрографе, усиливающиеся в случае неравномерного освещения дифракционной решетки или ее дефектов. Упомянутые тонкие структуры в спектре зависят от углового распределения излучения, освещающего решетку, на входной щели спектрографа. Все описанные выше структуры накладываются друг на друга и регистрируются совместно. Чтобы паразитные спектральные структуры могли быть исключены при обработке, необходимо, чтобы они были идентичны для референтного и атмосферного спектров и минимальны по величине.

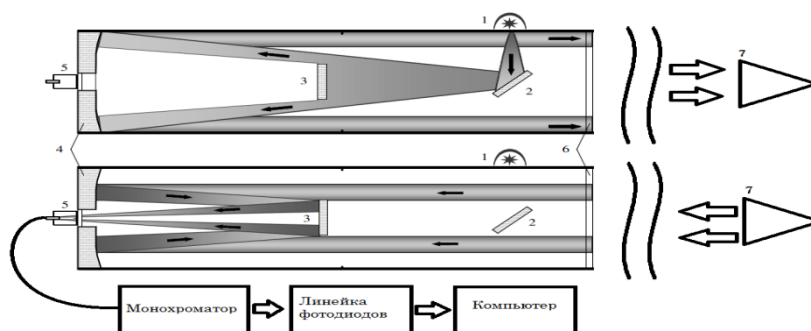


Рис.36. Оптическая схема приемо-передающего устройства (вверху передающий канал, внизу - приемный). 1 – Хе лампа; 2 – плоское поворотное зеркало; 3 – плоское вторичное зеркало; 4 – главное сферическое зеркало; 5 – входное окно ОВС; 6 – защитное стекло; 7 – ретрорефлектор

В сентябре 2013 г. были проведены измерения концентрации озона, окислов

азота и серы и др. газов в районе пл. Южная г. Томск. Длина оптического пути (туда и обратно) составляла 484 м. Данные о погодных условиях брались с метеостанции (WMO ID): 29430. Измерения проводились в среднем ультрафиолете (202 – 355 нм), что позволяло проводить параллельные измерения для ряда газовых примесей в атмосфере – CH_2O , NO_2 , O_3 , C_6H_6 , C_7H_8 , $\text{C}_6\text{H}_6\text{O}$, $\text{C}_7\text{H}_6\text{O}$, CS_2 .

В качестве примера на рис. 37 представлен суточный ход концентрации формальдегида. Для озона все значения концентраций превышают в несколько раз предельно допустимую среднесуточную концентрацию (с.с.ПДК).

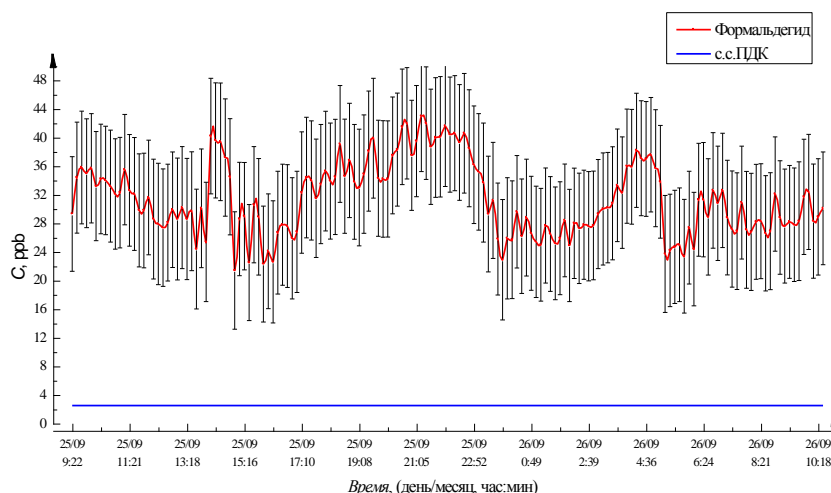


Рис. 37. Суточный ход концентрации формальдегида и уровень среднесуточный уровень ПДК

Научная новизна состоит в разработке и реализации методики калибровки источника излучения трассового газоанализатора.

Значимость результатов состоит в обосновании эффективности применения метода ДООС для непрерывного мониторинга загрязнения атмосферного воздуха техногенными выбросами и продуктами их трансформации.

- **Субблок 2в.** Анализ возможных схем построения макета источника лазерного излучения, перестраиваемого в среднем ИК диапазоне, для задач экологического мониторинга.

Проведен аналитический обзор работ и патентный поиск по источникам лазерного излучения, перестраиваемого в среднем ИК на основе различных нелинейных кристаллов: HgGa_2S_4 , $\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Ga}_2\text{S}_4$, AgGaS_2 , AgGaSe_2 , AgGaGeS_4 , GaSe , ZnGeP_2 и др.

На основе проведенного анализа были сформулированы следующие технические требования к составу разрабатываемого макета.

1. Система оптической накачки кристалла-преобразователя частоты, включающая следующие части: оптико-механический блок излучения накачки; электронный

блок управления, настройки и юстировки оптического тракта излучения накачки; блок стабилизации температуры излучателя накачки.

2. Система нелинейно-оптического преобразователя частоты оптического излучения: оптико-механический блок перестройки частоты; блок охлаждения кристалла.

3. Система вывода излучения: оптико-механический блок юстировки и компенсации ухода луча; электронный блок управления, настройки и юстировки оптического тракта выходного излучения.

4. Блок контроля спектральных, энергетических и временных параметров выходного излучения.

Научная новизна результатов и их значимость. Научная новизна результатов, полученных на этапе выполнения проекта, подтверждается публикациями в рецензируемых журналах, полученными патентами и направленными заявками на изобретения, докладами на международных и российских конференциях.

*Проект VIII. 80.2.1. Научно-методические основы создания
вычислительно-информационной среды для региональных
междисциплинарных климато-экологических исследований*

На основе опыта, полученного при создании информационно-вычислительной платформы «Климат» (<http://climate.scert.ru/>) разработана архитектура геопортала локальной инфраструктуры пространственных данных для поддержки исследований климатических изменений в Сибири, предоставляющего сервисы эффективного поиска, доступа, а также вычислительной обработки и картографической визуализации больших архивов пространственно-привязанных данных.

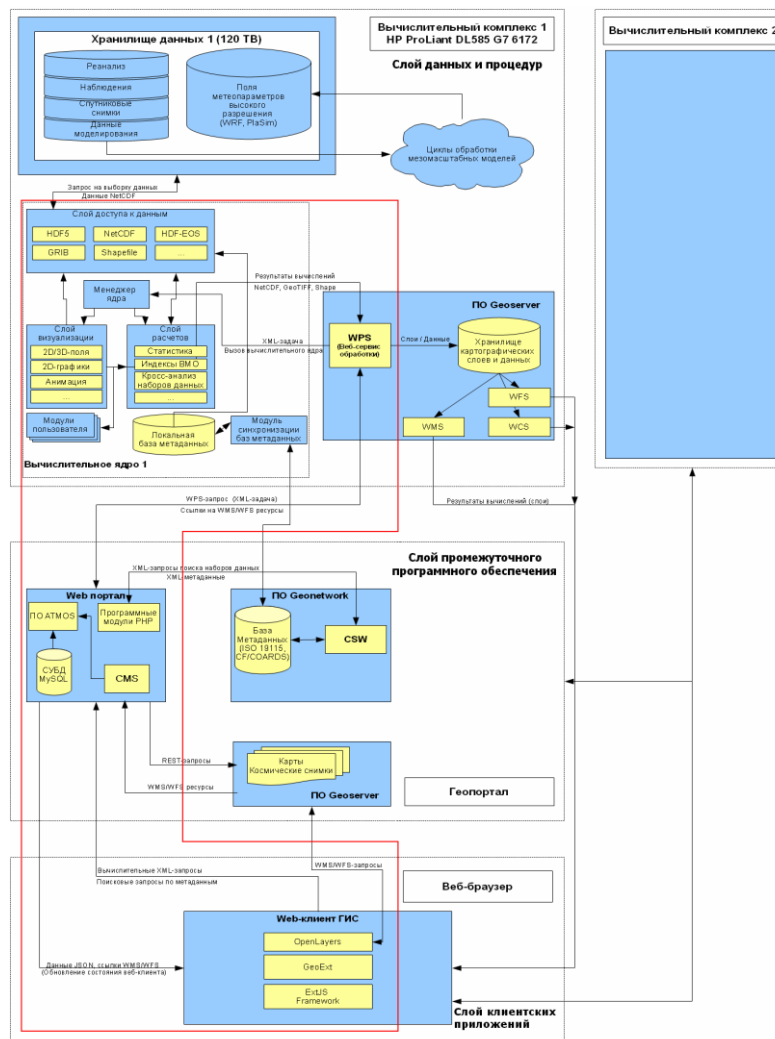


Рис. 38. Архитектура локальной инфраструктуры пространственных данных

Общая схема геопортала локальной инфраструктуры пространственных данных состоит из трех основных слоев (рис. 38):

1. Слой данных и низкоуровневых процедур их обработки, предоставляющий соответствующие картографические сервисы обработки и визуализации.
2. Слой промежуточного программного обеспечения в виде веб-портала, включая центральный каталог метаданных и серверные веб-приложения.
3. Слой клиентских Веб-ГИС приложений, отвечающий за ГИС-функциональность, доступную конечному пользователю.

Красной рамкой на рис. 38 из общей архитектуры выделен подобранный базовый набор программного инструментария, обеспечивающий быструю разработку тематических Веб-ГИС приложений в области климато-экологического мониторинга. В него входит вычислительное ядро, набор управляющих PHP-контроллеров в рамках веб-портала, продукт Geoserver (<http://geoserver.org/>) и JavaScript-библиотеки для создания типовых элементов графического интерфейса Веб-ГИС приложений на базе продуктов OpenLayers, GeoExt и ExtJS.

Ряд компонент информационно-вычислительной платформы «Климат», обеспечивающей обработку и анализ больших наборов геофизических данных, а также предоставление программной интернет-площадки для обучения студентов и аспирантов в области климатологии и метеорологии входит в состав геопортала в качестве специализированного программного инструментария.

Пример графического интерфейса платформы «Климат», как типового тематического веб-ГИС приложения геопортала приведен на рис.39.

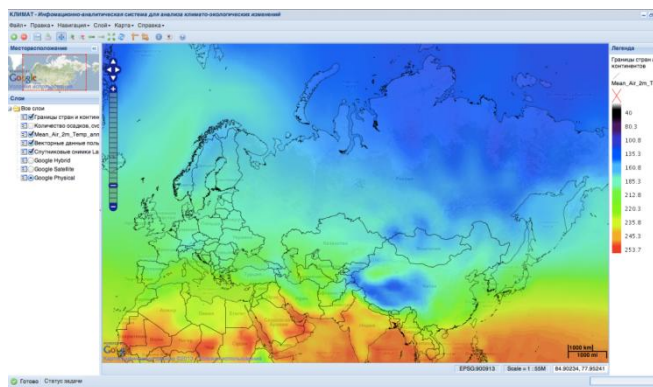


Рис. 39. Пример использования платформы «Климат», как типового тематического веб-ГИС приложения геопортала, для мониторинга климатических изменений

Основной объем научно-исследовательских работ в рамках проекта в 2013 году выполнялся для достижения следующих целей:

1. Разработка, в рамках современных технологий и стандартов, архитектуры геопортала локальной инфраструктуры пространственных данных для поддержки исследований климатических изменений в Сибири.
2. Выбор подходов и технологий разработки структур хранения больших архивов данных, полученных, в том числе, в результате глобального и регионального климатического моделирования, а также программного обеспечения для работы с ними, и реализация эффективных алгоритмов статистической обработки временных рядов пространственных данных

Также, выполнялись работы по формированию набора моделей адекватно учитывающих особенности выбранного региона и подготовке к их использованию для расширения архива тематических наборов данных различного пространственного разрешения для территории Сибири.

1. Разработка, в рамках современных технологий и стандартов, архитектуры геопортала локальной инфраструктуры пространственных данных для поддержки исследований климатических изменений в Сибири.

Выполненный аналитический обзор литературы по стандартам и технологиям создания инфраструктуры пространственных данных (ИПД) и современным веб и геоинформационным технологиям показал, что развитие этого направления идет согласно принятой В 2006 году Правительством Российской Федерации «Концепции создания и развития инфраструктуры пространственных данных в Российской Федерации» (№ 1157-р), которая определяет основные цели, задачи и этапы формирования инфраструктуры пространственных данных (ИПД) как инструмента повышения качества и эффективности работ, связанных с созданием и использованием пространственных данных, связанных с ними геосервисов, и т.д. Единой точкой доступа к пространственно-привязанным геофизическим данным и продуктам их обработки в рамках концепции ИПД является тематический геопортал, предоставляющий возможности поиска геоинформационных ресурсов по каталогам метаданных, формирования выборок пространственных данных по их характеристикам, а также управления сервисами обработки и картографической визуализации данных. Следует отметить, что разработка сервисов доступа и обработки данных в области наук о Земле (геопроессинга) не является тривиальной задачей.

В настоящее время общие принципы и стандарты в области с геоинформационных веб-сервисов разрабатываются и декларируются международной некоммерческой организацией Open Geospatial Consortium (OGC). Основными функциями, выполняемыми геосервисами OGC, являются: визуализация пространственных данных (Web Map Service - WMS), их предоставление пользователю в векторном (Web Feature Service - WFS) и растровом (Web Coverage Service - WCS) форматах, удаленное редактирование данных (Web Feature Service Transactional — WFS-T), а также их геопространственная обработка (Web Processing Service — WPS). WPS предоставляет единый интерфейс к библиотекам функций геообработки для любого ГИС-клиента, включая веб-браузер, и может быть интегрирован в тематические геопорталы ИПД.

Использование всего набора веб-сервисов OGC позволяет разрабатывать «тонкие» ГИС-клиенты (в том числе веб-клиенты), в задачу которых входит только взаимодействие с пользователем и представление результатов выполнения его задач в рамках соответствующих веб-приложений. Перенос в веб обработки и анализа пространственных данных стал возможным благодаря развитию мощных серверных продуктов, таких как Mapserver (<http://mapserver.org/>), Geoserver (<http://geoserver.org/>), degree (<http://wiki.deegree.org/>), и т.д., обеспечивающих упомянутые сервисы WMS/WFS/WCS, а также развитию собственно веб-клиентов ГИС, отвечающих за реализацию графического интерфейса пользователя. Большинство существующих сегодня проектов с открытым исходным кодом базируется

на ПО UMN Mapserver и Geoserver. MapServer является мощным инструментом, по своей функциональности не уступающим коммерческому ПО. Geoserver основан на Java-инструментарии Geotools, в дополнение к стандартным картографическим веб-сервисам OGC реализует спецификацию WFS-T, и предоставляет RESTful (Representational State Transfer) интерфейс. Согласно комплексному исследованию производительности, при адекватном конфигурировании оба продукта имеют сравнимые характеристики, и выбор в пользу одного из них может быть сделан исходя из соображений архитектуры разрабатываемого ПО и удобств разработки.

Основываясь на обзоре веб-клиентов ГИС, можно сделать вывод, что последние поколения клиентов, как правило, базируются на библиотеке OpenLayers (<http://openlayers.org>). Отдельного рассмотрения заслуживают JavaScript-библиотеки для построения веб-интерфейсов приложений на основе технологии AJAX. Такие программные продукты как DHTMLX (<http://www.dhtmlx.com/>) и DOJO (<http://dojotoolkit.org/>), хотя и предлагают довольно богатый набор компонент графического интерфейса, вызывают достаточно много нареканий пользователей по производительности и количеству ошибок, обнаруживаемых в релизах. Наиболее интересной с точки зрения функциональности и степени развития является библиотека ExtJS, предоставляющая богатейший набор виджет-компонент. При этом для построения клиентской части веб-приложений, обеспечивающих работу с сервисами геоданных, может быть использована библиотека GeoExt.

Что касается программного обеспечения, реализующего сервисы работы с геометаданными, то можно рассматривать такие продукты как GeoNetwork Opensource (<http://geonetwork-opensource.org>), MDweb (<http://www.mdweb-project.org/>) и deegree. GeoNetwork является средой управления пространственной информацией, разработанной для доступа к пространственным данным и связанным с ними метаданным из различных источников. GeoNetwork представляет собой программное обеспечение с открытым программным кодом на языке Java и соответствующее условиям лицензии GNU General Public License v2. Основные свойства данного ПО: поддержка разнообразных стандартов метаданных, в том числе ISO19115/ISO19119/ISO19139/ISO19110; возможность задавать собственные профили ISO 19115; создание, редактирование, импорт элементов метаданных; возможность реализовать поиск метаданных по распределенным каталогам; возможность поддержки профиля ISO CSW 2.0; возможность локализации.

Принимая во внимание в целом сходные функциональные возможности данных программных продуктов, а также тот факт, что картографическое ПО Geoserver является интегрированной частью Geonetwork, было принято решение использовать его при построении геопортала локальной инфраструктуры про-

странственных данных. На этой основе была разработана общая архитектура геопортала локальной ИПД.

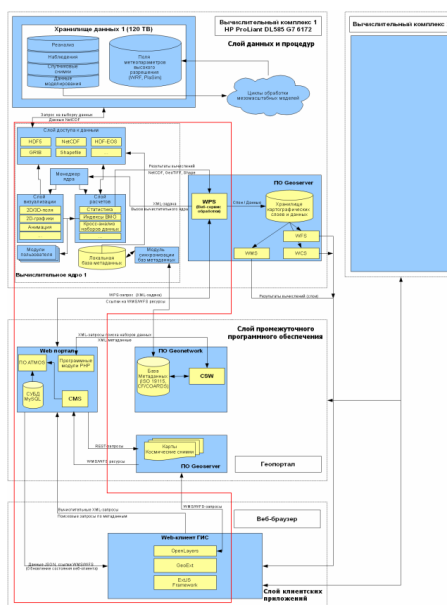


Рис.40. Общая архитектура геопортала локальной ИПД

Его общая схема содержит три основных слоя (рис.40):

- Слой данных и низкоуровневых процедур их обработки, предоставляющий соответствующие картографические сервисы обработки и визуализации.
- Слой промежуточного программного обеспечения в виде веб-портала, включая центральный каталог метаданных и серверные веб-приложения.
- Слой клиентских Веб-ГИС приложений, отвечающий за ГИС-функциональность, доступную конечному пользователю.

Слой данных и процедур их обработки состоит из множества географически распределенных вычислительных систем, каждая из которых включает такие компоненты как: эффективная в терминах поиска, доступа, выборки и последующей статистической обработки модель хранения больших наборов пространственных климатических данных; модульное вычислительное ядро в виде независимого программного обеспечения для статистической обработки пространственных данных, являющегося вычислительным бэкендом для сервисов геопроессинга; и вычислительные и картографические веб-сервисы для работы с пространственными данными на основе OGC WMS, WFS, WCS, WPS, базирующиеся на ПО Geoserver (<http://geoserver.org>). При этом WPS обеспечивает стандартизованный внешний HTTP-интерфейс для удаленного конфигурирования и запуска вычислительного ядра, а также представления результатов в цифровых (NetCDF, GML) и графических форматах согласно формализованным инструкциям конечного пользователя.

Слой промежуточного программного обеспечения представляет собой

собственно геопортал как центральный элемент узла ИПД и включает: веб-портал, реализующий веб-приложения в виде независимых PHP-классов и связь с веб-сервисами OGC; каталог метаданных на основе ПО GeoNetwork Opensource; репозиторий Geoserver, содержащий базовые картографические слои.

Слой клиентских Веб-ГИС приложений обеспечивает функциональность ГИС для конечного пользователя. Для реализации тематических приложений на базе сервисов пространственных данных в рамках геопортала было выбрано следующее открытое программное обеспечение: JavaScript библиотека OpenLayers (<http://openlayers.org/>), обеспечивающая основную функциональность тонкого клиента Веб-ГИС; JavaScript библиотеки GeoExt/ExtJS для разработки клиентских веб-приложений с интуитивно-понятным интерфейсом, подобным интерфейсам настольных ГИС-приложений.

Красной рамкой на рисунке 40 выделен выбранный набор программного инструментария для быстрой разработки тематических Веб-ГИС приложений в области климато-экологического мониторинга (вычислительное ядро, набор управляющих PHP-контроллеров в рамках веб-портала, продукт Geoserver (<http://geoserver.org/>), JavaScript-библиотеки для создания графического интерфейса Веб-ГИС приложений).

На рис.41 и 42 представлены UML-диаграммы работы сервисов статистической обработки геоданных геопортала и классов верхнего уровня.

Специализированные сервисы пространственных геофизических данных, реализованные в рамках представленной архитектуры, обеспечивают их унифицированную распределенную обработку и представление в требуемых форматах с использованием стандартов OGC.

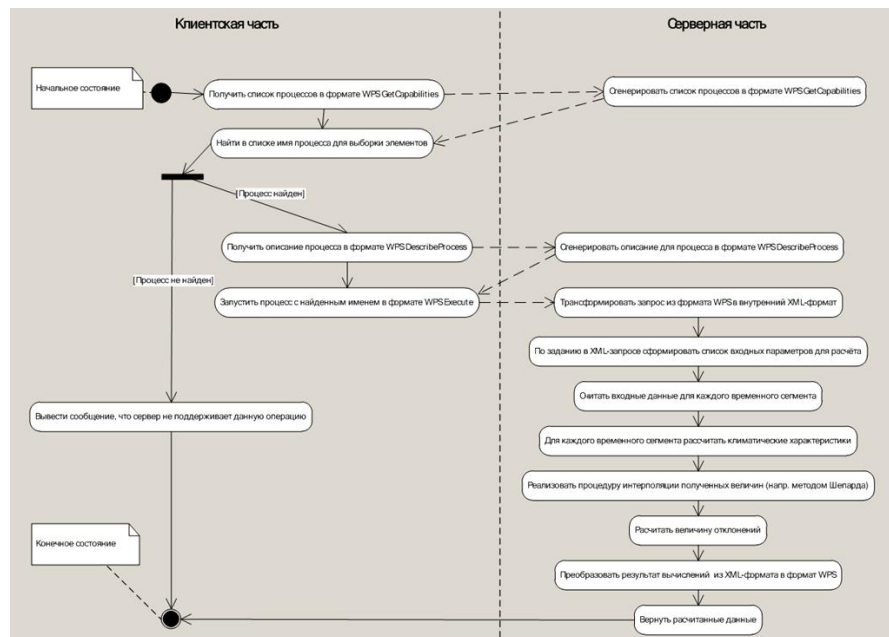


Рис.41. UML диаграмма деятельности: работа с сервисами статистической обработки

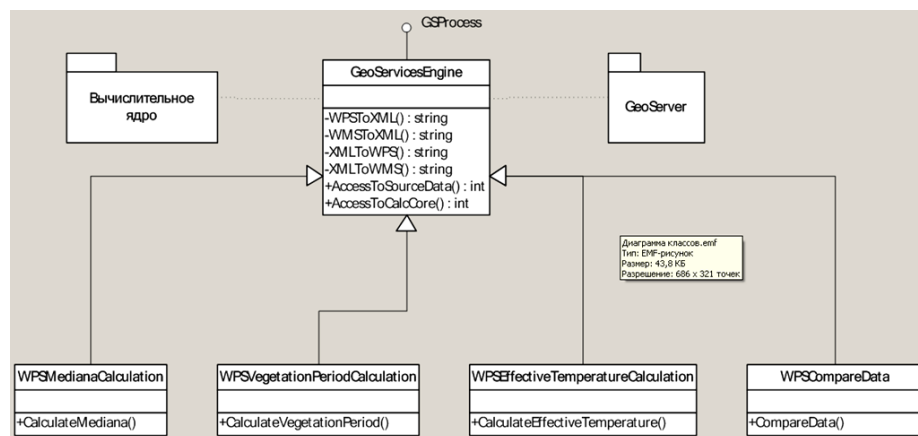


Рис.42. Общая UML диаграмма классов сервисов геоданных.

2. Выбор подходов и технологий разработки структур хранения больших архивов данных, полученных, в том числе, в результате глобального и регионального климатического моделирования, а также программного обеспечения для работы с ними, и реализация эффективных алгоритмов статистической обработки временных рядов пространственных данных

На основе анализа литературы предложен подход к обработке больших пространственных данных на основе архитектуры распределенных вычислений «shared nothing» (SN), в которой каждый вычислительный узел является независимым и самодостаточным, то есть, узлы не имеют общей памяти или дискового пространства. Преимуществом данной архитектуры является высокая надежность вычислительной сети (выход из строя одного узла не приводит к потере функциональности сети в целом), высокая скорость обработки данных (возможность выполнять обработку данных параллельно на нескольких узлах) и простая масштабируемость кла-

стера (новые узлы легко интегрируются в существующую инфраструктуру). В рамках данной архитектуры предлагается использовать ряд подходов и технологий, призванных повысить скорость и надежность обработки данных:

- 1) распределенная обработка данных на многих вычислительных узлах;
- 2) распределенное хранение данных с избыточностью (репликация одних и тех же данных на системах хранения, подключенных к различным вычислительным узлам);
- 3) группировка данных в рамках одной системы хранения по классам и предполагаемым видам обработки;
- 4) предварительная подготовка и хранение промежуточных результатов обработки в виде «таблиц поиска» (lookup tables);
- 5) быстрое кэширование небольших фрагментов промежуточных результатов в рамках одного вычислительного узла;
- б) использование принципа «знания данных» (data awareness), в рамках которого каждый вычислительный узел «знает» о данных, размещенных на системах хранения, которые к нему подключены, а главный управляющий узел использует эти знания при распределении заданий по узлам.

На уровне аппаратной реализации архитектуры хранение и обработка больших геопространственных данных осуществляется в рамках вычислительной сети (SciGrid). Вычислительная сеть представляет собой совокупность пространственно-распределенных вычислительных машин – узлов, связанных между собой сетями передачи данных и осуществляющих обмен данными по защищенному соединению (SSH), используя стек протоколов TCP/IP. Каждый узел, выполняющий обработку данных, называется «рабочим узлом» (WorkNode). Аппаратная архитектура каждого рабочего узла определяется особенностями организации и может быть, как с общей (shared), так и с распределенной (distributed) памятью. В случае использования системы с распределенной памятью (вычислительный кластер) рабочим узлом является машина, на которой установлено программное обеспечение для управления вычислительными заданиями на кластере (cluster scheduler). Данные могут храниться как на самих рабочих узлах, так и на выделенных системах хранения данных (СХД), подключенных к ним. Наиболее предпочтительным является непосредственное подключение систем хранения (direct attached storage – DAS) к рабочим узлам, используя высокоскоростные интерфейсы связи, например, SAS 6Gb. Однако допускается использование сетевого подключения (network attached storage – NAS) с использованием высокоскоростных сетевых интерфейсов, типа FibreChannel (FC) или 10G Ethernet (10GE). Для управления вычислительной сетью выделяется так называемый «управляющий узел» (MasterNode), который обраба-

тывает запросы от клиентов, производит распределение задач по рабочим узлам, собирает с рабочих узлов результаты обработки и предоставляет результаты клиентам.

На уровне реализации архитектуры хранения данных геопространственные данные хранятся в виде наборов двоичных файлов в выбранном формате в рамках штатной файловой системы, предусмотренной операционной системой (ОС), установленной на СХД или рабочий узел (в зависимости от того, где хранятся данные). Данные располагаются в строгой иерархии каталогов:

- /<путь к корневому каталогу с данными>/
- <название архива данных>/
- <горизонтальное разрешение>/
- <разрешение по времени>/
- <набор файлов и каталогов с данными>

Здесь, <путь к корневому каталогу с данными> определяется системным администратором, <название архива данных> задает имя каталога, содержащего все данные одного архива данных, <горизонтальное разрешение> задает имя каталога, содержащего данные с одним горизонтальным разрешением, <разрешение по времени> задает имя каталога, содержащего данные с одним шагом по времени. Далее по иерархии располагаются файлы с данными. Имена файлов и подкаталогов не регламентируются и определяются индивидуальными особенностями конкретного набора данных. Каждый файл содержит многомерный набор геопривязанных значений одного или нескольких метеорологических параметров. Также в файле могут содержаться метаданные, описывающие этот набор (размерности, типы значений, названия метеопараметров, а также организации и проекта, в рамках которого он был создан).

Данные, хранящиеся на рабочем узле или на связанной с ним СХД называются «локальные данные» (Local data). При этом реализуется принцип «знания данных» (data awareness), заключающийся в том, что управляющий узел «знает» на каком рабочем узле какие данные хранятся и передает задачи на обработку тем узлам, которые содержат обрабатываемые данные. Эта информация хранится в базе данных управляющего узла (MasterDB). Также, каждый рабочий узел хранит в локальной базе данных (WorkDB) метаданные локальных геопривязанных данных, к которым он имеет доступ и которые он может обрабатывать. Метаданные включают описание пространственно-временных характеристик каждого набора данных, список метеопараметров и расположение файлов каждого набора данных в иерархии файловой системы. Основная задача этой БД – предоставление по запросу подробной информации о данных, доступных для чтения и обработки на данном рабо-

чем узле, а также полных путей к файлам с обрабатываемыми данными. Метаданные из локальной базы данных регулярно или по требованию синхронизируются с базой данных управляющего узла для поддержания актуальной информации о доступных для обработки наборах данных и их местоположении. За синхронизацию баз данных отвечает специальный процесс синхронизации (DBSync), работающий на управляющем узле.

Для ускорения процессов чтения и обработки предлагается хранение не только самих наборов геопространственных данных, но и предварительно рассчитанных промежуточных продуктов, полученных на их основе. К таким продуктам относятся, в первую очередь, результаты осреднения по пространству и/или времени: данные с более грубым пространственным разрешением, а также средние за сутки, месяц, год. Также, предварительно могут быть подготовлены некоторые промежуточные величины, расчет которых занимает значительное время и которые не зависят от других расчетных параметров. Такие наборы данных носят название «таблицы поиска» (lookup tables) и их использование может значительно сократить время счета для трудоемких задач. Хранение таких наборов промежуточных данных предлагается в файлах формат netCDF, как хорошо приспособленного для хранения и быстрой выборки многомерных массивов данных. Данные о наличии и содержании таких таблиц поиска содержатся также в локальных базах данных рабочих узлов наравне с другими наборами данных. Хранение файлов на диске осуществляется в той же иерархии каталогов, что и для наборов геопространственных данных.

На каждом рабочем узле установлено программное обеспечение для обработки и визуализации геопространственных данных – вычислительное ядро (WorkCore). Каждое ядро снабжено программным интерфейсом для получения задач по каналам связи через защищенное соединение. Распределением заданий между вычислительными ядрами занимается менеджер задач (JobManager), расположенный на управляющем узле. Менеджер задач выполняет следующие функции:

- получает от клиентов задания на обработку и визуализацию данных;
- с учетом знания на каких рабочих узлах расположены данные, подлежащие обработке, разделяет задания на отдельные задачи для вычислительных ядер;
- передает задачи на рабочие узлы, содержащие обрабатываемые данные;
- по окончании обработки, собирает результаты с рабочих узлов;
- подготавливает конечный результат и предоставляет его клиентам.

Разработанная модель хранения и обработки больших пространственных данных, опирающаяся на архитектуру распределенных вычислений «shared nothing» и стандарт netCDF обеспечат высокую скорость доступа и обработки дан-

ных, а также гибкость и легкость при масштабировании вычислительной сети.

Существенную роль в работе с большими наборами пространственных данных играют эффективные алгоритмы статистической обработки временных рядов. В частности, для анализа климатических процессов необходим следующий перечень ключевых климатических характеристик: основные статистические характеристики распределений (среднее арифметическое, дисперсия, среднеквадратическое отклонение временного ряда значений метеорологической величины), показатели временной структуры метеорологических рядов (суточная и годовая амплитуда значений метеорологической величины, продолжительность вегетационного периода и суммой эффективных температур года, интенсивность осадков и количество дней с осадками выше заданного предела). Для изучения динамики экстремальных климатических явлений в условиях меняющегося климата необходимо вычисление набора экстремальных индексов разработанных Международной экспертной группой по обнаружению, мониторингу и индексам изменения климата при Комиссии по климатологии ВМО. Эти индексы выражены абсолютными максимальными и минимальными значениями метеорологических величин, показателями повторяемости и непрерывной продолжительности климатических явлений со значениями метеовеличин выше или ниже заданных пороговых значений. В частности, в него входят показатели количества дней с морозом, заморозком, жарких дней и душных ночей, одно-/пятидневный период с максимальным количеством осадков для отдельного месяца, продолжительность периода с осадками и без осадков и др. Особенности временной динамики указанных климатических характеристик определяются долговременными составляющими временных рядов – трендами, позволяющими оценить тенденцию изменения метеорологической величины, оценкой статистической значимости выявленных тенденций. Такая последовательность процедур, включающая вычисление климатических характеристик, изучение их пространственной и временной динамики, позволяет получить наиболее полное представление об особенностях происходящих климатических изменений в выбранном регионе.

В настоящее время разработан и реализован в виде комплекса вычислительных программ алгоритм обработки и анализа пространственно-привязанных геофизических данных различного происхождения с использованием широкого набора апробированных статистических методов, обеспечивающий получение ключевых статических оценок климатических изменений и экстремальных явлений климата в выбранном регионе.

Предложенный подход исследования реализован в виде набора программных модулей с использованием языка программирования высокого уровня ITTVIS In-

teractive Data Language 7.0 (IDL, <http://www.itervis.com/language/en-us/productsservices/idl.aspx>) разработан комплекс программ. Выбор языка программирования обусловлен наличием обширной математической библиотеки и широкими возможностями по обработке и визуализации больших массивов данных. Для работы используются архивы данных инструментальных наблюдений, архивы данных реанализов. Разработанные модули являются независимыми относительно обрабатываемой метеорологической информации и пространственно-временных границ. Для описания временной динамики изучаемых рядов метеорологических величин разработаны модули расчета коэффициентов линейной регрессии и статистики критерия Стьюдента. Также программно реализована возможность сравнения данных из двух разных наборов посредством вычисления разности. Результаты вычислений представляются в виде набора пространственно-привязанных данных статистических характеристик (карт) для каждого отдельного момента времени. Вывод результатов производится в файлы формата GeoTIFF, EPS, PNG, ESRI Shapefile. На основе полученных карт осуществляется количественное описание и интерпретация выявленных пространственно-временных изменений изучаемой метеорологической величины.

Основные этапы общего алгоритма обработки временных рядов метеорологических данных включают следующие этапы:

1. Получение входных параметров задачи (архив данных, пространственный и временной диапазон исследования, климатическая характеристика).
2. Считывание входных данных. Это могут быть поля метеорологических величин реанализов или ряды инструментальных наблюдений сети наземных метеорологических станций. Чтение данных для каждого отдельного промежутка времени (сегмента времени) выполняется в цикле по временным сегментам.
3. Выполнение, внутри указанного цикла, расчета выбранной климатической характеристики для каждого отдельного сегмента времени и для каждой ячейки пространства.
4. Подготовка и возвращение результата в вызывавшую процедуру.
5. Считывание соответствующих результатов проведенных ранее расчетов как входных данных задачи для выявления временной динамики рассчитанной климатической характеристики.
6. Вычисление коэффициентов линейной регрессии и вычисление статистики критерия Стьюдента.
7. Подготовка и возврат результата в вызывавшую процедуру.
8. Подготовка на основе полученных оценок выводов о пространственных и временных изменениях изучаемой климатической характеристики.

В настоящее время проводится оптимизация организации вычислительных процедур, реализующих этот алгоритм и его тестирование на примере анализа изменений экстремальных климатических характеристик. Интеграция созданного комплекса программ в вычислительное ядро геопортала существенно упростит работу специалистов предметных областей с большими архивами данных и позволит эффективно выполнять научные исследования в области мониторинга современных и возможных в будущем климатических изменений.

В рамках формирования набора моделей адекватно учитывающих особенности выбранного региона и подготовки к их использованию для расширения архива тематических наборов данных различного пространственного разрешения для территории Сибири развернута, установлена и настроена новая версия (16.022) климатической модели промежуточной сложности «Planet simulator», которая позволяет проводить вычисления как в однопроцессорном, так и в многопроцессорном режиме. Новую версию модели отличает от предыдущей возможность использовать более высокое пространственное разрешение — в дополнение к T21 (~5.6°x5.6°) добавлена возможность использования T31 (~4°x4°) и T42 (~2.5°x2.5°); обновление полей данных, задающих граничные условия; оптимизация большинства вычислительных параметризационных модулей; и новая версия постпроцессора, позволяющая более просто использовать формат NetCDF.

Результаты тестирования продемонстрировали адекватное воспроизведение основных характеристик климатической системы. Модель также была адаптирована для работы с новыми климатическими сценариями RCP (RCP 3, RCP 4.5, RCP 6, RCP 8.5). Таким образом, с помощью модели «Planet simulator» можно проводить исследования не только текущей климатической ситуации, но и возможных будущих климатических изменений (рис.43).

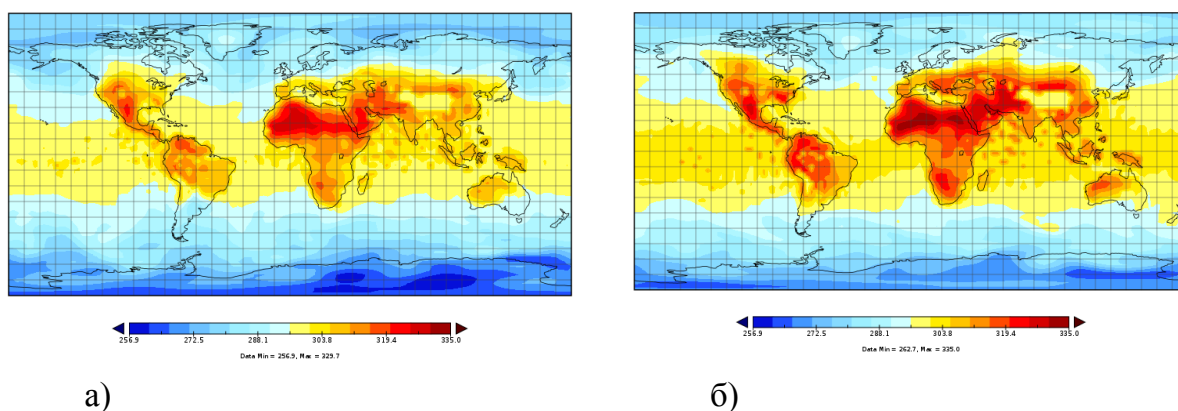


Рис. 43. Температура воздуха на 1000 гПа для июля 2100 года, рассчитанная с использованием: а) контрольного сценария (концентрация углекислого газа в атмосфере постоянна и составляет 360 ppm) и б) наиболее агрессивного климатического сценария RCP 8.5.

Развернута региональная климатическая модель RegCM версии 4.1 высокого пространственного разрешения, построенная для ограниченной территории и включающая атмосферу, деятельный слой почвы континентов и внутриматериковые водоемы. Выбор этой модели был обусловлен успешным ее применением для исследований климатических изменений во многих климатических зонах мира, наличием данных о погрешностях моделирования приземной температуры воздуха и осадков в различные сезоны года для разных климатических зон, а также открытого кода, детального описания баз данных, функций подсистем и форматах данных. Динамическим ядром модели RegCM выступает гидростатическая версия мезомасштабной модели. В модели имеется набор схем параметризаций для описания физических процессов переноса излучения, переноса потоков тепла и влаги в почве, физических процессов в пограничном слое, конвективных осадков и др. Так, например, для описания переноса потоков тепла и влаги в почве могут быть использованы модели BATS (Biosphere-Atmosphere Transfer Scheme) или CLM (The Community Land Model), для описания конвективных осадков имеются три схемы.

Модель была установлена и отлажена на многопроцессорном тестовом сервере с основной системой линукс (Fedora 10) на компиляторах gfortran и gcc. Для анализа пригодности модели для описания климатических изменений на территории Сибири для тестов была выбрана следующая конфигурация: размер ячейки 40 км; равноугольная коническая проекция Ламберта; характеристики подстилающей поверхности, по данным архива, с разрешением 30 угловых секунд; начальные и граничные данные по результатам реанализа Era-40; буферная зона 12 ячеек; 18 сигма уровней по вертикали; верхняя граница на уровне 50 гПа; временной шаг в атмосферной модели - 120 секунд. Остальные параметры модели задавались в соответствии рекомендациям разработчиков для версии 4.1. Выбор данной конфигурации был обусловлен рекомендациями ряда авторов, а также на основе проведенных тестов. На этапе отладки модели были подготовлены программы, на языке фортран, по переводу выходных данных в международный стандарт CF, а также подготовки входных данных для запуска модели.

Была проведена серия тестов, целью которых является установление влияния граничных условий на выбор размеров расчетной области. Полученные результаты показали, что при размерах исследуемой области 2500 на 2000 км, размеры расчетной области составляют 3400 на 2700 км. При выборе меньшей расчетной области, всю динамику, как в атмосфере, так и в приземном слое, определяют непосредственно граничные условия, а не система уравнений региональной модели. Данное ограничение значительно увеличивает затрачиваемое на расчет необходимых массивов метеорологических и климатических данных машинное время и как следст-

вие усложняет процесс обработки выходных данных.

Продолжается сравнение различных версий мезомасштабной метеорологической модели WRF при анализе откликов на климатические изменения на территории Сибири. Кроме того, анализируется возможность использования накопленных в ходе работы архивов климатических характеристик и развернутых моделей в процессе обучения студентов и аспирантов соответствующих специальностей.

Проект VIII.80.2.2. Научные основы создания оптических, акустических и электронных приборов, комплексов и систем для метеорологических измерений и технологии их применения в задачах мониторинга окружающей среды

1. Разработка и изготовление макета оптического измерителя характеристик атмосферных осадков (дождя, града).

На основе использования теневого оптического метода разработан оптико-электронный двухканальный измеритель осадков, предназначенный для непрерывного определения интегральных и структурных параметров выпадающих атмосферных осадков (количество, интенсивность и тип осадков, распределение частиц осадков по размерам и скоростям падения и др.). Прибор обладает высокой чувствительностью и малой погрешностью измерений ($2 \cdot 10^{-5}$ мм и $\pm 3\%$ соответственно), в нем устранено влияние ветрового недоучета, свойственное ведру Третьякова. Прибор может работать в автоматическом режиме с выдачей информации на компьютер, в том числе в составе ультразвукового метеорологического комплекса АМК-03. Технические решения защищены патентом РФ на полезную модель. По данной разработке в 2013 году защищена диссертация на соискание степени кандидата технических наук. Оптико-электронный двухканальный измеритель осадков может быть использован как в составе автоматических метеорологических постов для осуществления рутинных измерений осадков, так и для обеспечения научных исследований особенностей распространения оптического и коротковолнового электромагнитного излучения в приземной атмосфере в условиях осадков, в исследовательских задачах по агрономии и пр.

Оптико-электронный двухканальный измеритель осадков (ОДИО) предназначен для определения структуры и количества атмосферных осадков. Работа прибора основана на теневом методе измерения: два взаимно перпендикулярных оптических канала, каждый из которых состоит из источника оптического излучения (диодный лазер) и быстродействующего многоэлементного фотоприемника (фотодиодная линейка), образуют открытую виртуальную измерительную зону, че-

рез которую при естественном падении проходят частицы осадков (рис.44). Оптические каналы удалены друг от друга по вертикали на расстояние 5 мм, что позволяет измерять установившиеся скорости падения частиц осадков с относительной погрешностью, не превышающей 5%. Размеры теней частиц и скорости их прохождения через измерительную площадку используются для вычисления с помощью микропроцессоров интегральных характеристик осадков (тип осадков, интенсивность и др.) в режиме реального времени.

Оптико-электронный двухканальный измеритель осадков может быть использован как в составе автоматических метеорологических постов для рутинных измерений параметров осадков, так и в научных исследованиях особенностей распространения оптического и коротковолнового электромагнитного излучения в приземной атмосфере в условиях осадков, в исследовательских задачах по агрометеорологии и т.п. Преимущества ОДИО:

- высокая чувствительность, так как порог чувствительности – одна частица осадков, попавшая в измерительную зону;
- отсутствие ошибок измерений, вызванных «ветровым недоучетом», дроблением капель на элементах конструкции, эффектами испарения и смачивания;
- возможность автоматизации измерений, внедрение принципа «безлюдной технологии»;
- высокая надежность, обусловленная отсутствием механических измерительных элементов;
- возможность измерения параметров снега за счет «открытой» конструкции прибора.

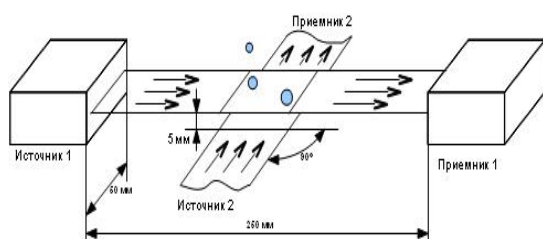


Рис.44. Принцип действия оптико-электронного двухканального измерителя осадков



Рис. 45. Внешний вид оптико-электронного двухканального измерителя осадков

2. Разработка и изготовление макета автоматического метеорологического комплекса, способного функционировать при температурах окружающей среды до -70°C в условиях обледенения.

Разработана конструкция и изготовлены экспериментальные образцы электроакустических преобразователей (ЭАПов) с нагревательным элементом. Разработан и изготовлен макет ультразвукового термоанемометра с системой принудительного подогрева электроакустических преобразователей. Экспериментально определены основные технические характеристики системы (напряжение питания, потребляемая мощность и пр.). Макет подготовлен к проведению испытаний в климатической камере.

3. Разработка и изготовление макета автоматического метеорологического комплекса с каналами измерения атмосферных осадков, уровня солнечной радиации, профилей температуры грунта, высоты снегового покрова

Разработан экспериментальный образец атмосферно-почвенного измерительного комплекса «АПИК» (рис.46), предназначенного для автоматических измерений и регистрации основных параметров атмосферы и почвы. Комплекс может конфигурироваться по желанию пользователя широким набором датчиков, в том числе датчиками профиля температуры грунта, датчиком количества жидких осадков, датчиком суммарной солнечной радиации. Возможный состав комплекса АПИК приведен в таблице.

Таблица

№	Компонент	Диапазон, погрешность	№	Компонент	Диапазон, погрешность
1	Регистратор (АИПТЗ) в корпусе с элементами питания	-40... +50°C; 2 000 000 измерений,	8	Датчик количества жидких осадков	0... 1000 мм/ч, ±5 %;
2	Регистратор (АКЛ2) в корпусе с аккумулятором, GSM-модемом и антенной	-40... +50°C; GSM-модификация	9	Датчик суммарной солнечной радиации	диапазон 0,2...10 мкВт, ±5 %, 0–2000 (0-1300) Вт/м ² , -55...+50°C
3	Солнечная батарея СФБ-14-12	GSM-модификация	10	Датчик влажности грунта	0 ... 100%, ±1 - ±2 %;
4	Датчик атмосферного давления	375...862 мм.рт.ст., ±1 кПа; 7,5 мм.рт.ст.	11	Датчик уровня воды	0...10,5 м, ±1%
5	Зонд профиля температуры грунта	-55...+50°C, ±0,2 °C	12	Датчик проводимости воды	10 ⁻⁴ ...2*10 ⁴ , 8...2*10 ³ для болота мкСм/см, ±20 %
6	Датчик температуры и влажности воздуха	0 ... 100%, ±3,5 %; -55...+50°C, ±0,3 °C	13	Датчик высоты снежного покрова	0...0,7 м, ±0,05 м; 0...0,8 м, ±0,05 м; 0...1 м, ±0,025 м
7	Датчик скорости и направления ветра	0,9 ... 78 м/с, ±5 %; 0 ... 360°, ±7 %	14	Комплект для бурения №1 (№2)	0,95 метра – камень; 3,5 - глина



Рис. 46. Атмосферно-почвенный измерительный комплекс «АПИК»

Атмосферно-почвенный измерительный комплекс «АПИК» в 2013 году поставлен в Институт физического материаловедения, Институт географии и Институт мерзлотоведения СО РАН (программа ИМПОРТОЗАМЕЩЕНИЕ 2013).

4. Расширение состава пилотной измерительно-вычислительной системы ИВС-МЕТЕО-3, отработка технических средств и программного обеспечения, осуществляющих передачу и накопление метеоданных на центральном сервере системы.

В 2013 году изготовлено 2 дополнительные метеостанции АМК-03, которые были установлены в районе населенных пунктов Половинка и Аркашево Томского района. Станции эксплуатировались в опытном режиме в летний период времени (рис.47). С началом зимнего сезона эксплуатация станций была прекращена в связи с невозможностью осуществления охраны станций от несанкционированного доступа и хищения. Станции передаются в ЛГБВ для выполнения измерений по плану научно-исследовательских работ лаборатории и дальнейшего использования их в качестве сетевых станций системы ИВС-МЕТЕО.

Разработан опытный образец и изготовлен и передан в архив комплект конструкторской документации АМЯ5.000.003 на контроллер передачи данных (GPRS – контроллер), обеспечивающий связь метеостанции АМК-03С с центральным сервером системы (рис.7). Связь осуществляется посредством сети ИНТЕРНЕТ двумя способами – с помощью встроенного в контроллер интерфейса связи Ethernet (кабельный канал) или посредством GSM-GPRS модема (канал сотовой связи). Наличие в модеме лифтов для двух SIM-карт обеспечивает беспроводную работу контроллера в сетях двух операторов мобильной связи стандарта GSM. Для обеспечения буферизации, первоначальной обработки и передачи данных устройство оснащено оперативной памятью емкостью 64 кбайт.

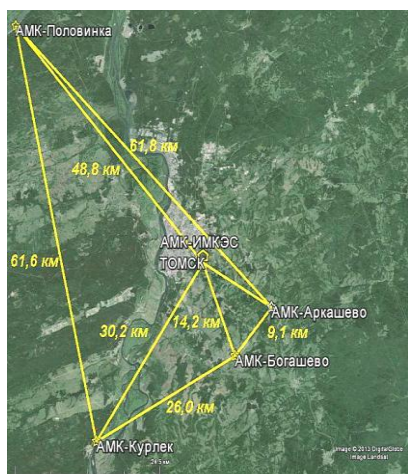


Рис.47. Информационно-измерительная система ИВС-МЕТЕО-5



Рис. 48. Контроллер передачи данных (GPRS – контроллер)

Основные технические характеристики GPRS – контроллера:

- устройство работоспособно при температуре окружающей среды от -10°C до $+55^{\circ}\text{C}$ и относительной влажности до 100%.
- 2 лифта для SIM-карт для работы устройства в сетях двух операторов мобильной связи стандарта GSM.
- сетевые интерфейсы:
 - а) GSM-модуль с возможностью работы через GPRS
 - б) витая пара ETHERNET 10МБит
- габаритные размеры $130 \times 110 \times 30$ мм
- внешние разъёмы контроллера: разъём питания 12 В, разъём ETHERNET II (IEEE802.3 10Base5, 10Base2), разъём DB9 RS-485, разъём RS-232, разъём для подключения GSM-антенны

5. Анализ данных, накопленных автоматическими метеорологическими станциями АМК-03 за время эксплуатации в составе пилотного варианта информационно-измерительной системы ИВС-МЕТЕО-3 за период 2011-2012 гг.

В 2013 году был продолжен анализ данных, накопленных автоматическими метеорологическими станциями АМК-03 за время эксплуатации в составе пилотного варианта информационно-измерительной системы ИВС-МЕТЕО-3 за период 2011-2012 гг. Целью этих работ является определение оптимальной плотности пространственного размещения измерительных постов с учетом орографических характеристик территории для обеспечения решения задачи пространственно-временного сверхкраткосрочного прогнозирования развития метеорологической ситуации. В ходе работ выполнен анализ пространственно-временных корреляци-

онных функций метеорологических параметров, проведен сравнительный расчет коэффициентов корреляции для разных условий.

Важнейшим условием возможности статистической интерполяции – экстраполяции метеорологических значений величин над территорией, частично охваченной постами приборных метеорологических наблюдений, является наличие пространственно-временной корреляции между имеющимися данными измерений. Ее наличие позволяет применять известные динамико-стохастические методы для прогнозирования пространственно-временной эволюции метеорологических величин. Результатом развития этих методов может служить создание программного обеспечения, выполняющего в рутинном режиме краткосрочные пространственно-временные прогнозы для метеорологических полей над территорией, контролируемых инструментальными измерениями только в отдельных ее точках. В подобных задачах, как правило, рассматривают значения метеорологических величин, усредненные за время порядка от одной до десяти минут, что позволяет игнорировать в них флуктуации метеорологических величин, обусловленные влиянием атмосферной мелкомасштабной турбулентности.

Ниже приводятся экспериментальные оценки корреляционных свойств метеорологических величин в приземной атмосфере, полученные при обработке данных региональной информационно-измерительной системы (ИИС) с пространственным масштабом в несколько десятков километров, созданной ИМКЭС СО РАН в окрестности г. Томска в 2010-2012 г.г.

Инструментальную основу данной ИИС составляет пространственно-разнесенная сеть из автоматических метеостанций серии АМК-03, с помощью которых могут выполняться приземные измерения основных метеорологических параметров атмосферы (скорости V и направления D горизонтального ветра; скорости вертикального ветра w ; температуры воздуха T ; относительной влажности r и атмосферного давления P), а также большой совокупности характеристик атмосферной турбулентности (за счет применения в них ультразвукового метода измерения мгновенных значений ортогональных компонент скорости ветра и температуры воздуха с частотой повторения до 80 Гц).

Первоначальный вариант ИИС, реализованный в декабре 2010 г., включал три поста измерений. Первый пост был пространственно совмещен с используемым сервером в ИМКЭС СО РАН, а два других были вынесены из г. Томска – один в аэропорт "Богашово"; второй на полигон ТУСУРа около с. Аникино. В августе 2011 г. последний пост был перенесен на научный стационар «Кедр» вблизи с. Курлек. А в ноябре 2012 г. в состав ИИС был введен еще один пост, размещенный на берегу р. Обь в с. Половинка.

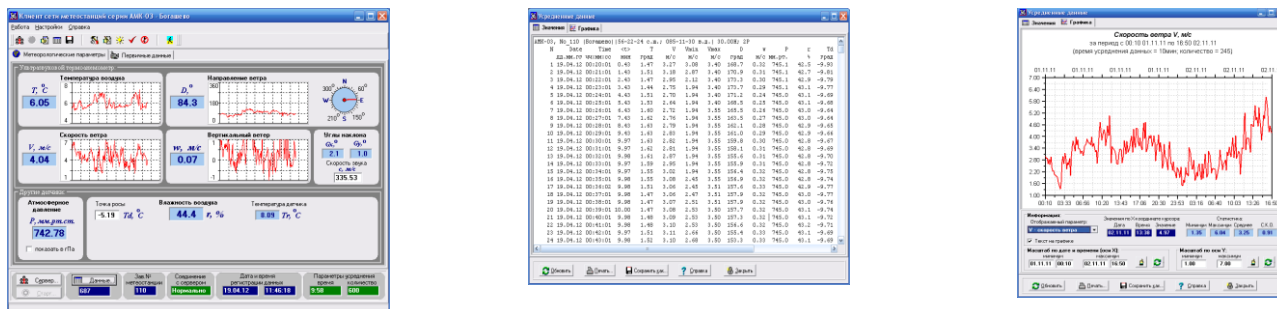


Рис. 49. Рабочие окна программы AMK-netClient при обработке и визуализации метеорологических величин из данных измерений ИИС.

Для работы с накопленными на сервере данными ИИС было разработано клиентское программное обеспечение (программа «AMK-netClient» в виде Windows-приложения, рис.49). Оно дает возможность его пользователю на удаленном компьютере запрашивать через Интернет у сервера и получать от него как текущие, так и за любой предыдущий период первичные данные измерений выбранной им метеостанции из состава ИИС. При этом в «AMK-netClient» автоматически выполняется преобразование первичных данных AMK-03, полученных от сервера, в мгновенные значения метеорологических величин, а затем их статистическая обработка. В этой программе также имеется система автоматической подготовки (математического усвоения) метеорологических данных для последующего их использования в алгоритмах стохастического прогнозирования. Она реализована как создание, с выбором пользователя параметров обработки, строго упорядоченных временных рядов значений метеорологических величин с одинаковым временем усреднения Δt_y (от 1 до 20 минут) и с одинаковым интервалом между моментами времени их регистрации Δt_p (от 1 минуты до 24 часов). Из этих рядов формируются числовые массивы выходных данных программы, которые могут записываться в файлы для передачи в другие программы и/или отображаться на экране монитора в виде временных графиков изменения метеорологических величин. Корреляционные свойства метеорологических величин в приземной атмосфере, описываемые ниже, оценивались исключительно после обработки данных ИИС этой программой.

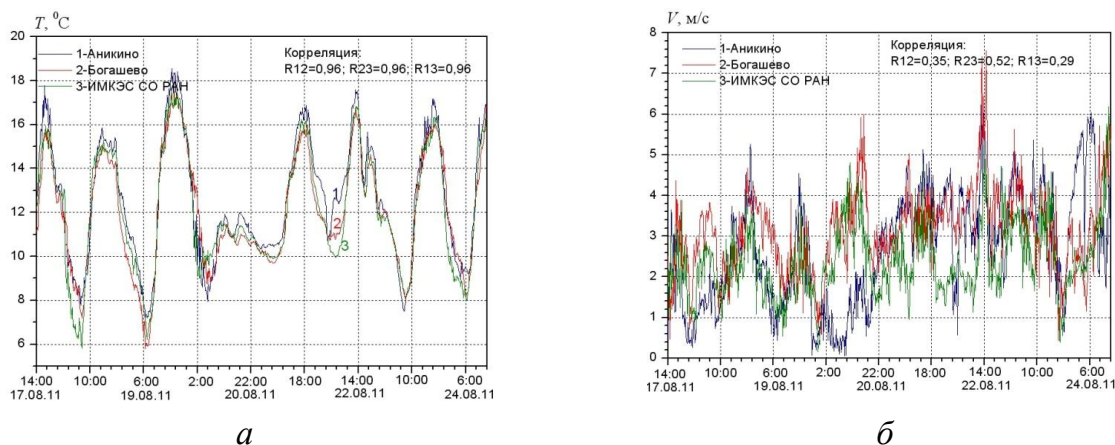


Рис. 50. Типичные образцы результатов синхронных измерений температуры (а) и скорости горизонтального ветра (б) на трех постах АМК-03 с 10-ти минутным усреднением первичных данных и вычисленные для них значения коэффициентов взаимной корреляции.

На рис. 50 показан пример как выглядят графически после обработки в «АМК-netClient» с усреднением за $\Delta t_y = 10$ минут и при $\Delta t_p = \Delta t_y$ данные синхронных одновременных измерений на трех постах ИИС (1- «Аникино», 2 – «Богашево» и 3 – «ИМКЭС СО РАН») за период наблюдения Δt_n с 17.08.11 по 24.08.11 для температуры воздуха T и горизонтальной скорости ветра V . Также на нем дополнительно приведены числовые значения коэффициентов взаимной корреляции R_{ij} для отображенных дискретных временных функций метеорологических величин, вычисленные по классической формуле из теории вероятности

$$R_{ij} = \frac{\sum_{k=1}^N (\xi_{i,k} - m_i)(\xi_{j,k} - m_j)}{\sqrt{D_i D_j}}.$$

Здесь $\xi_{i,k}$ – дискретное значение метеорологической величины ξ , предварительно усредненной за Δt_y минутный период для k -ого момента времени на i -ом посту наблюдений; $N = \Delta t_n / \Delta t_p$ (целое число) – количество имеющихся значений $\xi_{i,k}$ на выбранном интервале наблюдений Δt_n (суточном, недельном или более; например, при $\Delta t_p = 10$ минут для недельных наблюдений $N = 1008$); $m_i = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N \xi_{i,k}$ и $D_i = \frac{1}{N-1} \sum_k (\xi_{i,k} - m_i)^2$ – среднее и дисперсия величины $\xi_{i,k}$ за интервал наблюдений Δt_n на посту i ; то же самое относится к значениям величины $\xi_{j,k}$, ее среднему значению m_j и дисперсии D_j для другого поста под номером j .

Не смотря на взаимную удаленность на 20-30 км постов наблюдений АМК-03, на рис. 2 в явном виде прослеживается подобие временной изменчивости измеряемых на этих постах метеорологических величин. Последнее объективно под-

тверждается численными значениями вычисленных коэффициентов корреляции. Для температуры, влажности и давления коэффициенты взаимной корреляции R_{ij} за отображаемый на рис.2 период наблюдения превысили 0.9, а для направления ветра составили: $R_{12} = 0.9$, R_{23} и $R_{13} \approx 0.6$. Однако при этом для скорости горизонтального ветра только для постов "Богашево" и "ИМКЭС СО РАН" коэффициент корреляции (R_{12}) превышал значение 0.5. Существенно меньшие значения коэффициентов корреляции по скорости и направлению ветра с данными метеостанции АМК-03, размещенной около с. Аникино, объясняются специфичными особенностями ландшафта местности ее размещения (на краю высокого берега р. Томь).

Для метеорологических данных каждого из постов ИИС выполнялись расчеты временных автокорреляционных функций $R_i(t)$, также нормируемых на значение дисперсии,

$$R_i(t) = R_i(n) = \langle (\xi_{i,k} - m_i)(\xi_{i,k+n} - m_i) \rangle / D_i,$$

где $n = t/\Delta t_p$ ($n = 0, 1, 2, 3 \dots$) – номер отсчета функции для ее временного аргумента t , а угловые скобки являются символом статистического усреднения параметра, размещенного внутри их. Кроме внешнего вида этих функций наибольший интерес представляют значения интервалов времени корреляции Δt_k , оцениваемых здесь по уровню 0,5 от максимума $R_i(t)$ при $t = 0$, а также влияние на них используемого времени усреднения первичных данных измерений Δt_y . Время корреляции используемых значений метеорологических величин в существенной степени задает максимальный интервал времени, на который еще можно относительно достоверно выполнить стохастическими методами временной прогноз их дальнейшей эволюции. Для усредненных значений метеорологических величин, на которых влияние мелкомасштабной атмосферной турбулентности практически не сказывается, традиционно полагается, что интервалы времени корреляции имеют порядок величины в несколько часов.

В выполненных расчетах $R_i(t)$ время усреднения первичных метеорологических данных Δt_y варьировалось от 1 до 20 минут. Оказалось, что при таких значениях времени усреднения его выбор почти не влияет на интервалы временной корреляции для температуры, влажности и давления (отличия составляли в единицы минут). В то же время для скорости и направления ветра выбранное из этого диапазона значение времени усреднения первичных данных измерений может изменить интервал их временной корреляции на величину порядка 1 часа.

На рис. 51 приведены временные автокорреляционные функции $R_i(t)$ одновременно для температуры (T), скорости (V) и направления (D) ветра, давления (P) и температуры точки росы (Td) при 10-минутном усреднении первичных данных

измерений. Для возможности сравнительной оценки влияния на эти функции места и сроков (периодов) измерений они представлены для двух разных постов («Богашово» и «ИМКЭС СО РАН») и для двух разных сроков наблюдения в 2011 г. (с 17 по 24 августа и с 10 по 17 октября.)

Можно отметить, что на вид автокорреляционных функций для температуры, в отличие от аналогичных функций для давления и параметров ветра, существенное влияние оказывают периодические изменения этой метеорологической величины от местного времени (суточные колебания). Вследствие них эти функции, как правило, выглядят как затухающие колебания с тем же периодом в 24 часа, имея отрицательную корреляцию с абсолютным максимумом при аргументе t , равном 12 часов. При этом практически значимый интервал корреляции для температуры почти никогда не превышает 6-ти часов. Этот фактор косвенно также влияет на вид автокорреляционных функций для температуры точки росы.

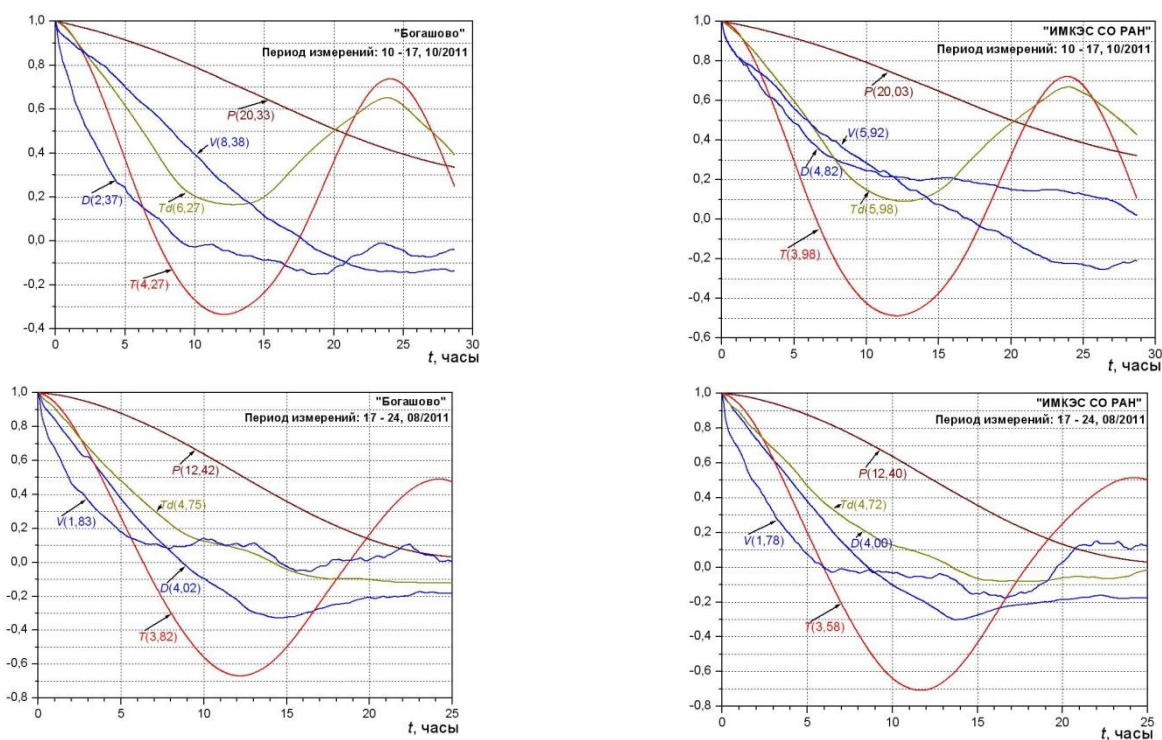


Рис. 51. Автокорреляционные функции при обработке с 10-минутным усреднением данных метеорологических измерений для температуры (T), скорости (V) и направления (D) ветра, давления (P) и температуры точки росы (Td): слева данные для поста «Богашово»; справа – для поста «ИМКЭС СО РАН»; сверху – для октября 2011 г; снизу – для августа 2011 г; в скобках приведены значения времени корреляции в часах для соответствующей метеорологической величины.

Числовые данные для интервалов времени корреляции, приведенные на рис.51, показывают, что они:

- для всех метеорологических величин имеют традиционно ожидаемые значения порядка несколько часов;
- меняются в зависимости от текущей синоптической обстановки в регионе (при смене периода наблюдений), но при этом их изменения происходят практически синхронно в горизонтальном пространственном масштабе порядка 20-30 км;
- для разных метеорологических величин, измеряемых даже в одном месте и в один срок наблюдения, имеют индивидуальные значения (как и ожидалось, наибольшие значения интервала корреляции характерны для наиболее инерционной величины - атмосферного давления, а наименьшие – для скорости и направления ветра).

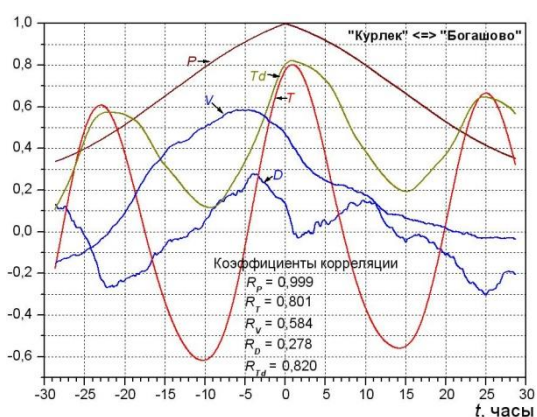
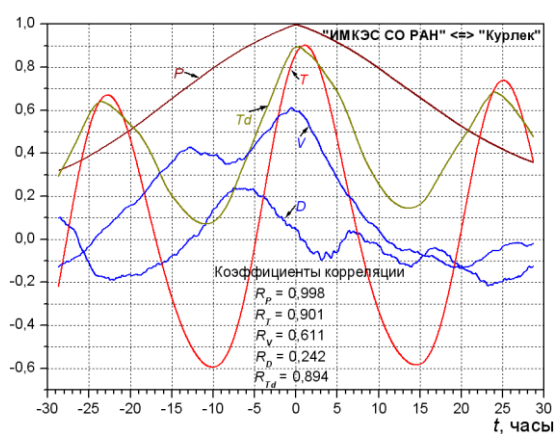
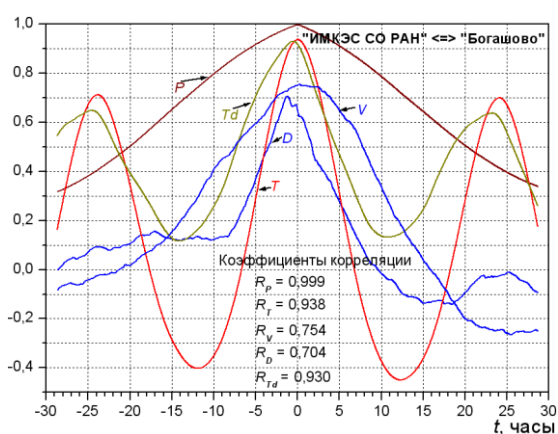


Рис.52. Функции взаимной пространственно-временной корреляции при обработке с 10-минутным усреднением данных метеорологических измерений с постов наблюдений «Богашово», «ИМКЭС СО РАН» и «Курлек» за период с 10 по 17 октября 2011 г.. Здесь обозначены как T данные для температуры, V – для скорости ветра, D – для направления ветра, P для давления, Td – для температуры точки росы. Приведены числовые значения максимумов коэффициентов корреляции.

На рис. 52. показано как выглядят функции взаимной пространственно-временной корреляции

$$R_{ij}(t) = R_{ij}(n) = \langle (\xi_{i,k} - m_i)(\xi_{j,k+n} - m_j) \rangle / \sqrt{D_i D_j},$$

где i и j – номера сравниваемых постов наблюдения, для метеорологических

величин T , V , D , P и Td при 10-минутном усреднении их первичных данных измерений. Они вычислены здесь по данным синхронных измерений на трех постах метеорологических наблюдений («Богашово», «ИМКЭС СО РАН» и «Курлек») за период с 10 по 17 октября 2011 г.

В отличие от автокорреляционных функций максимумы коэффициентов взаимной пространственно-временной корреляции всегда меньше единицы и смещены по аргументу t от нулевого значения. При этом абсолютные значения этих максимумов для температуры, влажности и давления здесь оказались порядка 0,9 и больше. Это указывает, что для выше перечисленных метеорологических величин можно выполнять пространственные прогнозы их значений по территории, ограничиваемой постами наблюдений ИИС, используя обычную математическую интерполяцию без привлечения специальных статистических методов. С другой стороны это дает обоснование возможности существенного увеличения расстояний между измерительными постами, что позволит контролировать метеорологическую обстановку на большей территории.

На рис. 52 наиболее слабая пространственная корреляция наблюдается для параметров ветра: для скорости ветра V она составила величины порядка 0,6 – 0,7, а для его направления D еще более меньшие значения. При этом не трудно заметить, что наименьшую корреляцию имеют данные измерений D на посту «Курлек» (порядка 0,25), в то время как данные измерений скорости и направления ветра на постах «Богашово» и «ИМКЭС СО РАН» вполне подобны друг другу. Указанное является прямым следствием влияния ландшафта местности на результаты приземных измерений ветра (здесь на всех постах высота измерений не превышает 30 м над уровнем земной поверхности). Посты «Богашово» и «ИМКЭС СО РАН» находятся на высокой открытой местности, а пост «Курлек» - в низкой пойме р. Томь в окружении соснового бора.

Влияние ландшафта местности на корреляционные свойства приземных измерений ветра также подтверждают данные ИИС для случая, когда вместо поста «Курлек» использовались измерения на посту «Аникино». Для этого поста, в отличие от данных на рис. 11, наблюдается значительная корреляция (порядка 0,75 и более) для измеряемых значений направления ветра D , в то время как для скоростей ветра V она, наоборот, значительно уменьшается. Местоположение поста «Аникино» на высоком месте позволяет получать более характерные для региона значения направления ветра D , но наличие рядом крутого берегового склона заметно искажает значения наблюдаемых скоростей ветра V .

6. Изучение технических требований к метеорологическим комплексам, способным функционировать на борту беспилотных летательных аппаратов (аэростатов), и особенностей их использования.

Это направление работ связано с апробацией идеи применения контактных измерительных средств для осуществления дистанционных измерений метеопараметров посредством установки измерительных средств на борту беспилотных летательных аппаратов. Такие системы могут служить в качестве контрольных для дистанционных лидарных и содарных систем, а так же в ряде случаев могут иметь значение в качестве самостоятельных измерительных комплексов. На их основе можно реализовывать как точечные так и трассовые методы измерения параметров приземного слоя атмосферы, включая измерение профилей ветра, температуры, влажности, давления, а так же наклонной дальности видимости (или дальности видимости на взлетно-посадочной полосе).

На данном этапе работ проводился поиск типов БПЛА, которые можно применить для этих целей. Были выбраны два типа БПЛА, наиболее пригодных для установки метеорологических средств измерений – это привязные малогабаритные аэростаты и БПЛА геликоптерного типа. Проведены оценки возможностей их применения для решения задач контроля метеорологических параметров приземного слоя атмосферы, в частности, определен оптимальный тип аэростата - это гибридный малогабаритный привязной аэростат «Колибри», производства МАИ, использующий аэродинамический принцип подъема и обладающий хорошими техническими характеристиками при малом объеме баллона (рис.53).



Рис. 53. Гибридные малогабаритные привязные аэростаты «Колибри» (МАИ, г.Москва)

Ниже приведены основные технические характеристики выпускаемых гибридных аэростатов «Колибри».

Технические характеристики

Тип	К-01	К-02	К-05	К-10	К-20
Объём м ³	1	2	5	10	20
Полезная нагрузка, кг	0,6	1,5	3	7	15
Максимальный ветер, м/с	12	12	15	15	18
Максимальная высота подъёма, м	250	300	500	800	1000
Длина, м	2,3	2,9	3,9	4,9	6,2
Высота, м	1,3	1,7	2,2	2,8	3,5
Ширина, м	1,4	1,8	2,4	3,0	3,8

За рубежом идее использования БПЛА для подобных целей (и в том числе аэростатным системам) уделяется повышенное внимание. Так, в вооруженных силах США создаются специализированные многоцелевые аэростатные подразделения, а на рис. 13 приведен пример установки на аэростат ультразвукового термоанемометра компании **Young Company**.

На рис.55 приведен эксперимент, проведенный в ИМКЭС СО РАН по установке метеоконкомплекса на борту БПЛА вертолетного типа.



Рис. 54. MODEL 81000 SONIC ANEMOMETER ON AIRSHIP-GERMANY (Young Company)

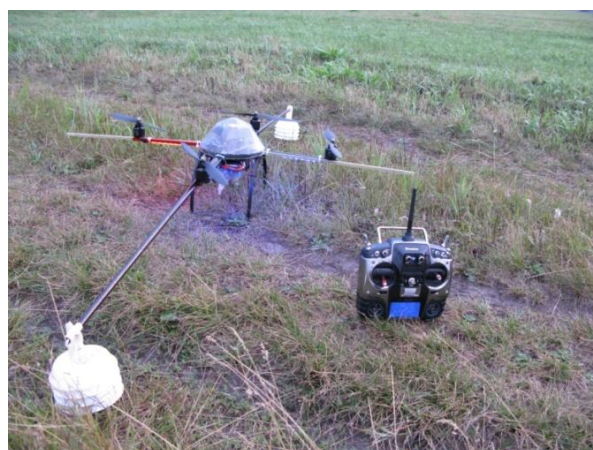


Рис.55. Метеоконкомплекс АПИК (ИМКЭС СО РАН) на борту БПЛА вертолетного типа

Проект VIII.80.2.3. Методы измерения и алгоритмы совместного анализа природно-климатических процессов

1 Выявление объектов, обеспечивающих сохранность палеоинформации, на основе региональных особенностей их динамики, формирование банка носителей информации с описанием и радиоуглеродными данными.

1.1 Проведен и обоснован выбор объектов, оптимальных для изотопных хронологий, обеспечивающих сохранность палеоинформации. Проведены детальные исследования физико-химических свойств, изотопного состава и элементный анализ на выбранных ключевых участках (КУ).

Проведен и обоснован выбор трех базовых объектов для изучения изотопного состава континентальных отложений торфа: два КУ южнотаежного болота Темное, расположенного на II надпойменной террасе р. Томь, имеющих мощные олиготрофные торфяные залежи глубиной 6.5 и 6.0 м, и торфяной разрез (т.р.) Средний Васюган, глубиной 3.9 м, что гарантирует содержание палеоинформации за весь голоцен. Параллельное датирование т.р. и сравнительный анализ данных позволит не только получить корректные данные, но и установить причины многочисленных искажений возраста и инверсий радиоуглеродных дат, ранее выявленные нами на болотах региона. Создается рабочая коллекция торфов, определяются их физико-химические свойства.

Проведено детальное исследование изотопного состава (^{14}C) 46-ти образцов торфа на КУ Темное 7 и 16-ти образцов на КУ Темное 8.. На КУ Темное 7 Выявлены нарушения изменения показателей радиоуглеродного и калиброванного возраста по глубине залежи: определены глубины, на которых даты удревленные, инверсионные или сходные, т.е. образующие на кривой зависимости глубина-возраст плато, приуроченные к известным похолоданиям климата около 1200 и 4300 л.н. по ^{14}C (Волкова и др., 2004), когда на южнотаежных болотах были активны криогенные процессы (Прейс, 2013). Наиболее вероятно, плато обусловлены перемещением слоев торфа при деградации многолетнемерзлых бугров пучения. Близкие значения возраста многих пар соседних по глубине образцов дают неправоммерно высокие показатели скорости аккумуляции торфа, свидетельствуя о значительной ошибке датирования. Планируется уточнение дат после расширения базы данных спектров стандарта (^{14}C) и фона (“мертвый” бензол).

Проведен элементный анализ золы торфов КУ Темное 7 рентгенофлуоресцентным методом, выявлена отрицательная корреляционная зависимость Si и Fe, что свидетельствует о разных источниках их поступления на болото. Освоена методика и проведено определение степени гумификации торфа т.р. Темное 7.

Проведены детальные исследования ботанического состава, степени разложения, зольности, плотности, весовой влажности и рН т.р. Темное 8 и Средний Васюган.

1.2 Разработаны методики изотопного анализа объектов окружающей среды на примере радиоуглерода и трития, а также первичной подготовки образцов для исследования стабильных изотопов хромато-масс-спектрометрическим методом.

Построены хронологии содержания трития и радиоуглерода в целлюлозе древесных колец сосны обыкновенной в пригородных лесах г. Томска, подтверждающие благополучную экологическую обстановку и, в целом, определяющиеся глобальными, региональными и локальными факторами. Выявленный нисходящий тренд активности трития в целлюлозе, по-видимому, характеризует многолетнюю динамику поступления трития из стратосферы. Кроме того, содержание трития в целлюлозе отражает и погодичную изменчивость метеорологических параметров территории. Температура июня предыдущего года значительно влияет на процессы фракционирования изотопов водорода во время образования продуктов фотосинтеза, используемых для формирования ранней древесины в текущем году. В то время как изотопный состав поздней древесины в большей степени отражает изотопный состав осадков текущего вегетационного периода, а, следовательно, и происхождение воздушных масс сезона роста. Пик удельной активности трития (13,2 Бк/л), зафиксированный в 2008 г., мы связываем с запланированной остановкой двух реакторов на заводе ОАО "СХК" (при остановке реакторов происходит активация быстрыми нейтронами лития с образованием большого количества трития). Наличие локального источника техногенного трития, возможно, отражается на уровне абсолютных значений активности трития в целлюлозе годовых колец, но не вносит существенных изменений в их динамику.

Изучена методическая литература, осуществлен перевод с английского языка на русский ряда инструкций пользователя полученного хромато-масс-спектрометрического комплекса. Разработана методика первичной подготовки образцов для исследования стабильных изотопов в образцах континентальных отложений хромато-масс-спектрометрическим методом, позволяющая повысить информативность биоиндикации палеоклимата по изотопному составу континентальных отложений.

Проведена оптимизация метода экстракции липидной фракции торфа с учётом лабильности соединений, входящих в состав фракции. Определены условия, позволяющие получить максимальный выход отдельных фракций для последующих хромато-масс-спектрометрических исследований. Экстракция осуществлялась растворителями в аппарате Сокслета. С целью оценки полноты экстракции органическими растворителями исследованы две смеси: спиртотолуольная (этанол-толуол

1:2) и спиртохлороформная (этанол-хлороформ 1:2). Выявлена наибольшая эффективность последней.

2. Составлен алгоритм выделения естественных пространственных и временных структур в температурных полях (МВС). Проведена верификация алгоритма с привлечением данных средней месячной температуры воздуха с 249 станций, расположенных в северной части Евразии за период 1955-2010 гг.

Для изучения сложных систем различной природы предложен метод и алгоритм выявления структур (МВС), реализующий в определенном смысле, совместно идеи кластерного анализа, методов классификации и распознавания образов. Метод адаптирован к анализу метеорологических полей. Изложение алгоритма классификации температурных полей представлено в работах А.И.Кускова.

Для верификации алгоритма подготовлена база данных средней месячной приземной температуры по данным 249 станций на территории северной части Евразии за период 1955-2010 гг. (Climatic Research Unit, <http://www.metoffice.gov.uk>).

Характерными свойствами воздушной массы (ВМ) являются: однородная подстилающая поверхность, однородный радиационный баланс и замкнутая циркуляция, которая не позволяет перемещаться ВМ с этой территории. В результате формируется однородное поле температуры, которое и выделяется при применении МВС. Выделенные крупные структуры со стабильным нахождением ВМ можно условно принимать за очаги формирования ВМ. Следует учитывать, что ВМ имеет горизонтальные размеры в тысячи километров, поэтому структуры, охватывающие небольшие площади следует относить к региональным очагам формирования, для которых местные условия оказывают значительное влияние. Или эти структуры находятся в зоне, разделяющей основные ВМ, которые принято называть фронтами, в данном случае климатическими. В случае климатических переходных зон называть их фронтами не верно, т.к. фронты, которые выделяются на картах погоды, исчезающе малы. Климатические переходные зоны имеют ширину несколько сотен километров, поэтому под понятие фронтов не подходят.

Были более детально уточнены очаги зарождения воздушных масс, однородные поля температуры и переходные контрастные зоны между ними. Так в январе, резкие переходы от одного класса в другой географически определены (рис. 56,а). Так переход от 4-го к 10-му классу в Европейской части территории практически меридиональный и направлен на юг. Зона раздела в западной части территории направлена вдоль Уральского хребта. После 50° с.ш. зона раздела разворачивается на юг к востоку и располагается вдоль гор южной Сибири, затем вдоль Амурской об-

ласти и Дальнего Востока продвигается на север территории. При ширине фронтальной зоны в 250 км при переходе от 4 к 10 классу перепад температур составляет $12,8^{\circ}\text{C}$. Вторая зона раздела расположена между бассейнами рек Оби и Енисея, замыкая внутри себя выделенный очаг холода. Наиболее контрастна эта зона над Забайкальем, Амурской областью и вдоль побережья морей Тихого океана. При переходе от 10 к 16 классу перепад температур составляет 12°C . Третья зона перехода от 16 к 19 классу, имеет контрастность в 9°C и огибает территорию северо-востока Сибири. Так в январе, над континентом Евразии наблюдается очаг холода в районе Оймякона и Верхоянска, который совпадает с очагом формирования полярной континентальной воздушной массы в зимний период. Выделенный очаг холода образуется над зоной тайги и тундры Западно-Сибирской равнины.

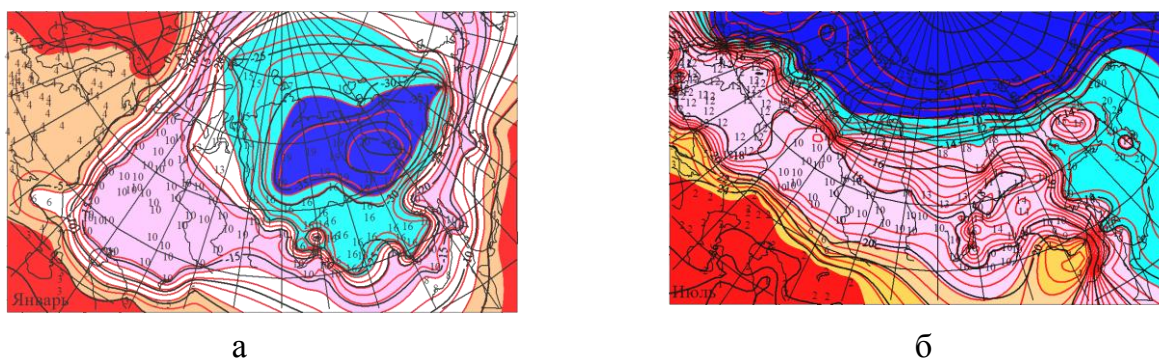


Рис. 56. Пространственная структура классов и средней температуры в годовом ходе:
а – январь, б – июль.

В июле классы имеют зональное распределение (рис. 56,б). Максимальные площади отмечаются в районах Каспийского и Аральского морей и охватывают 12% исследуемой территории. 12 класс, расположенный над западными районами России и восточными районами Европы занимает площадь в 9%, а 10 класс, расположенный вдоль 60° с.ш. растянут с запада на восток от Урала до Амурской области. Характерная особенность июля – наличие двух ярко выраженных контрастных зон на Севере Евразии и вдоль 50° с.ш. Наибольшие контрасты отмечаются в районах Швеции и Норвегии (рис. 56,б).

Из проведенного исследования выявлено, что климатические воздушные массы совпадают с территориями наиболее обширных классов, а климатические фронты определяются как переходные зоны между ними.

Предложенный метод позволяет определять нерепрезентативные станции (не входящие ни в одну структуру), которые не рекомендуется включать при решении соответствующих задач. Их местоположение и количество меняется от месяца к месяцу, так максимальное их количество наблюдается в марте – 30 (рис. 57), мини-

мальное в январе -14 станций. В последствии исследования в этом направлении будут продолжены с выходом на прогноз.

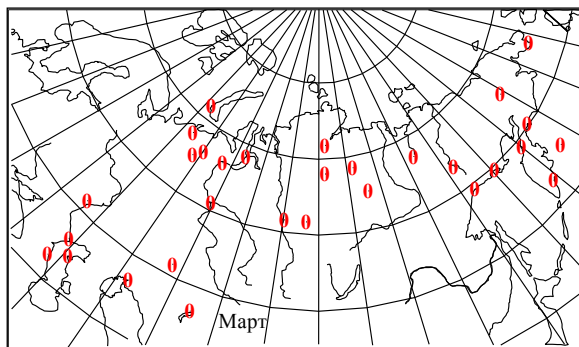


Рис.57. Пространственное распределение нерепрезентативных станций для марта.

4. Построен численный алгоритм, использующий формализм аналитического сигнала, для вычисления фазы годового хода приземной температуры воздуха с целью выделения территориальных климатических особенностей температурных полей. Проведено тестирование алгоритма по температурным данным метеостанций азиатской территории России и прилегающих стран.

Колебание может быть охарактеризовано двумя составляющими: огибающей (амплитудой) и фазой. Аналитический сигнал (АС), введенный в 1946 г. Д. Габором (*Gabor, 1946*), позволяет непротиворечиво и однозначным образом определить амплитуду, фазу и частоту (АФЧ). АС $W(x)$ является комплексной функцией, которая представляет исходное действительное колебание $U(x)$ как естественное обобщение представления, используемого для гармонических колебаний:

$$W(x) = U(x) + iV(x), \quad V(x) = \frac{1}{\pi} \text{v.p.} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{U(s)}{x-s} ds = \mathbf{H}_x U(x),$$

где несобственный интеграл определен в смысле главного значения по Коши (v.p.) в тех случаях, когда $s \rightarrow \pm \infty$ и при $x = s$. Мнимая составляющая АС – $V(x)$ является Гильберт-трансформантой (*Титчмарш, 1948*) его действительной части $U(x)$. Оператор преобразования Гильберта по аргументу x , обозначен как \mathbf{H}_x . Введение АС $W(x)$ позволяет определить амплитуду и фазу известным способом:

$$a(x) = \sqrt{U^2(x) + V^2(x)}, \quad \phi(x) = \text{arctg} \frac{V(x)}{U(x)}.$$

Если спектр сигнала сосредоточен в относительно узком интервале частот (узкополосный или квазимонохроматический сигнал), то амплитуда и фаза мало меняются за время, соответствующее периоду основной частоты. Для комплексного представления, построенного при помощи АС, величина такого изменения амплитуды и фазы при определенных условиях оказывается минимальной. Полез-

ность применения АС следует из того, что оператор преобразования Гильберта является единственным линейным оператором (Демьянов и др., 1999), для которого справедливо равенство: $\mathbf{H}_x \cos(\alpha_c x + \phi_o) = \sin(\alpha_c x + \phi_o)$, где $\alpha_c > 0$, ϕ_o – неизвестные константы, имеющие смысл несущей частоты и начальной фазы. Поэтому определение амплитуды и фазы осуществляется одинаково для сигналов с различными спектрами частот.

С вычислительной точки зрения преобразование Гильберта эквивалентно умножению в частотной области (α) на функцию $i \operatorname{sgn} \alpha$, поэтому АС, соответствующий данной действительной функции $U(x)$, получается путем обнуления одной половины, в данном случае левой, частотного спектра этой функции. Этот односторонний спектр называют еще причинным или каузальным.

$$W(x) = \int_{-\infty}^{\infty} (1 + \operatorname{sgn} \alpha) e^{-i\alpha x} d\alpha \int_{-\infty}^{\infty} U(s) e^{i\alpha s} ds = \int_0^{\infty} e^{-i\alpha x} d\alpha \int_{-\infty}^{\infty} U(s) e^{i\alpha s} ds.$$

На основе теории АС для рядов среднемесячных температур, представленных за 56 лет, измеренных на 332 метеостанциях Евразии, (рис. 58, а) рассчитаны фазы как главные значения функции arctg в пределах годового периода (рис. 58, б). Для каждого ряда температур получена непрерывная функция фазы на всем интервале наблюдения путем увеличения главных значений фазы последующего года на максимальное значение предыдущего (рис. 58, в). В годовом ходе фазы преобладает линейная составляющая с одинаковым наклоном для любого года, но с разными начальными и конечными значениями. Вычитая из функций фаз соответствующие линейные функции и центрируя остатки получаем среднемесячные фазовые флуктуации $\varphi_m : m \in [1, M]$, где M есть число метеостанций. Заметим, что при прочих равных условиях эти функции будут наиболее низкочастотными, что полезно для численного анализа (рис. 58, г). Учитывая, что каждая полученная функция имеет географическую привязку, применим их для классификации температурного поля на всей территории.

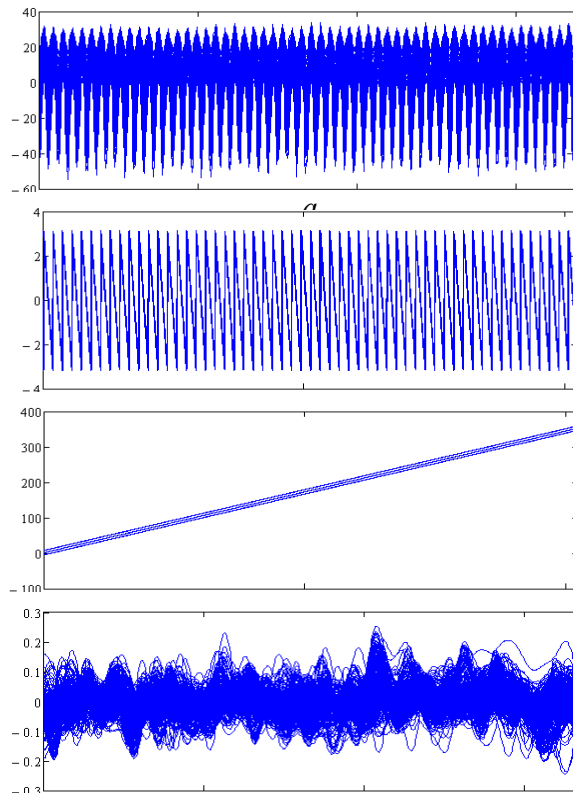


Рис. 58. Вычисление фаз температурных рядов. a – значения температур на различных метеостанциях за 56 лет в $^{\circ}\text{C}$; b – фазы, рассчитанные для каждого температурного ряда как главное значение arctg в радианах; c – непрерывные фазы, восстановленные для каждого температурного ряда в радианах; d – среднемесячные фазовые флуктуации, полученные для каждого ряда температурных значений в радианах (по оси абсцисс отложены годы от 1955 до 2010).

С целью группировки и оценки пространственного распределения разработан алгоритм выделения климатических групп на основе анализа полученного набора фазовых функций. В соответствии с алгоритмом для набора $\{\varphi_m\}$ рассчитывается корреляционная матрица $C_{m,n} : m \in [1, M]; n \in [1, M]$. Затем формируют группы метеостанций, данные которых имеют парные коэффициенты корреляции с данными других метеостанций выше заданного порога r . Для каждой группы определяется своя типовая фаза ${}_i\Phi$ (i – номер итерации) как среднее арифметическое фаз попавших в группу. Для сгруппированных станций исходные фазовые функции заменяются на типовые. Далее запускается итерационный процесс по описанному алгоритму, в котором группировка происходит до тех пор пока изменяются типовые фазы.

Эксперимент показал сходимость итерационного процесса, для анализируемых данных оказалось достаточным 15 итераций. В результате итераций алгоритма группировки с заданным пороговым коэффициентом взаимной корреляции $r \in [0.8, 1]$

выделены девять типовых фаз (рис. 59), характеризующих определенные модели протекания климатических процессов, отразившихся в изменении температуры. Таким образом, исходное 332-мерное пространство температурных рядов сократилось до 9-мерного пространства типовых фаз, которые характеризуют климатические особенности по территории, где расположены метеостанции.

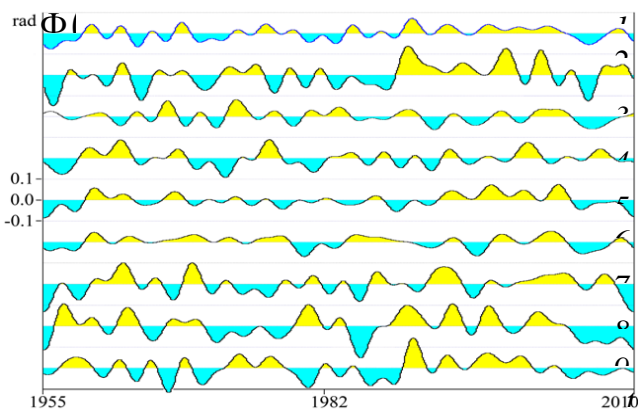


Рис. 59. Типовые фазы как функции времени

Проект VIII.80.2.4. Исследование информативности ОНЧ и ТГц диапазонов электромагнитного излучения для создания систем мониторинга окружающей среды и литосферных процессов

Блок 1. Анализ глобальных и региональных особенностей формирования пространственно-временной структуры электромагнитных полей в ОНЧ диапазоне на основе их регистрации в различных регионах Северного полушария в режиме непрерывного мониторинга и экспедиционных измерений.

База данных вариаций импульсного электромагнитного поля Земли ОНЧ диапазона на сервере ИМКЭС СО РАН дополнена данными постоянного мониторинга на пунктах наблюдения: стационар “Киреевск” Томской области, полигон “Тырган” Иркутской области, полигоны “Эханкалук” и “Березовка” республики Бурятия, пункт наблюдения “Яромаска” республики Удмуртия и станция “Карымшина” п. о-в. Камчатка. Обустроены и запущены в эксплуатацию дополнительно 2 пункта: полигон «Березники» на севере Пермского края и стационар «JiuFeng station» г. Ухань КНР.

На рис.60 представлена схема для анализа глобальных особенностей формирования пространственно-временной структуры электромагнитных полей в ОНЧ диапазоне.



Рис.60. Схема размещения станций регистрации электромагнитных полей в ОНЧ диапазоне в режиме непрерывного мониторинга.

На рис. 61. представлен монтаж оборудования для регистрации временных вариаций естественных импульсных электромагнитных полей Земли на полигоне «Березники». С ледует отметить, что электропитание оборудоания осуществляется от солнечной батареи. Передача данных производится по GPRS каналу на сервер Института в режиме реального времени.



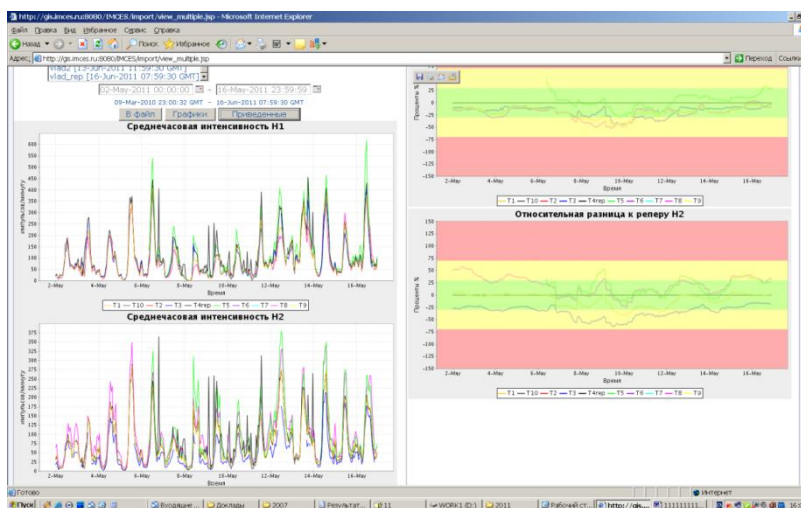
Рис.61. Монтаж оборудования на полтгоне «Березники»

Для анализа региональных особенностей формирования пространственно-временной структуры электромагнитных полей в ОНЧ диапазоне на оползневом участке магистрального газопровода, размером 700x700 метров обустроен полигон

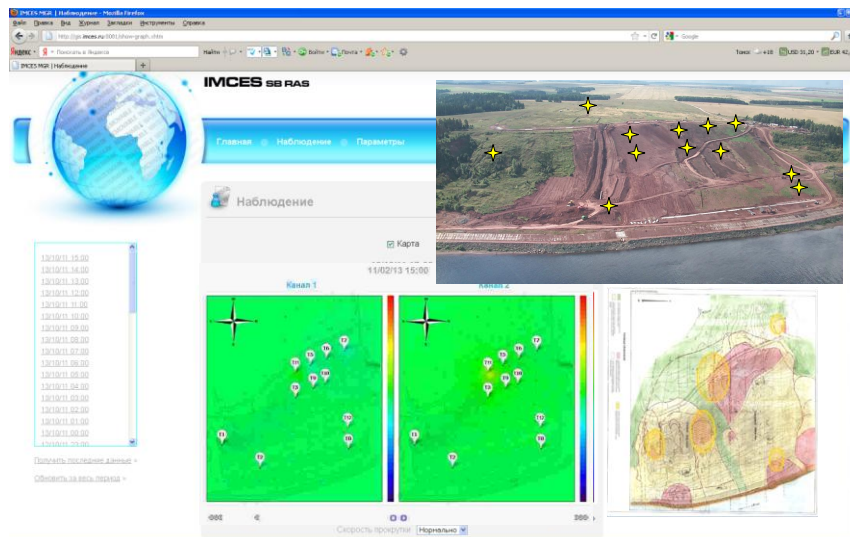
из 12 станций (рис. 62.) с целью оценки напряженно-деформированного состояния горных пород и краткосрочного прогноза активизации геодинамических процессов.



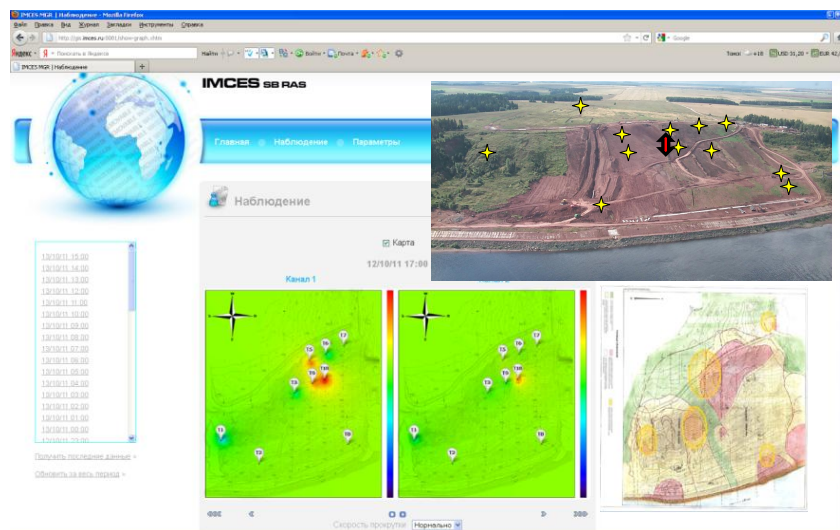
Рис. 62. Схема размещения станций на оползневом склоне



Интернет портал оценки устойчивости оползневого склона по параметрам ЕИЭМПЗ на трассе магистрального газопровода



Вид окна среды диспетчера автоматизированной системы контроля горных пород «АСК-ГП» в отсутствии аномальных зон геодинамики



Вид окна среды диспетчера автоматизированной системы контроля горных пород «АСК-ГП» при активизации оползневых процессов, в виде возникновения зоны растяжения в районе точек измерения № 5,9,10 по направлению запад-восток.

Блок 2. Определение характеристик ТГц излучения, необходимых для регистрации спектров пропускания биологических объектов окружающей среды.

Создана подборка публикаций о спектрах поглощения воды в различных агрегатных состояниях (Таблица) за период с 1946 г.; освоена методика расчета спектров поглощения с использованием известных банков данных.

Таблица: публикации о спектрах поглощения воды в различных агрегатных состояниях.

Фаза	Диапазон	Параметр	Ссылки
Пар	Микроволновый	ϵ_2	Lamb (1946) Trans. Farad. Soc. 42, A238
	12.5, 30 мм	ϵ_1 , Проп. (Т)	Lamb, Turney (1949) Proc. Phys. Soc. Lond. B62, 272
	Микроволны	ϵ_2	Auty, Cole (1952) J. Chem. Phys. 20, 1309
	32 мм	Погл. (Т)	Cumming (1952) J. Appl. Phys. 23, 768
	ИК	n, k	Ockman (1958) Adv. Phys. 7, 199
	Видимый	N	Kruger, Ambs (1959) J. Opt. Soc. Am. 49, 1195
	0.1 - 200 м	ϵ_1 , Проп. (Т)	Yoshino (1961) Antarct. Rec. 11, 228
	0.124 - 0.177	Погл. (Т)	Onaka, Takahashi (1968) J. Phys. Soc. Jpn 24, 548
	0.04 - 0.2	$\epsilon_{1,2}$	Daniels (1971) Opt. Comm. 3, 240
	0.005 - 100	n, k [tab]	Isobe (1971) Ann. Tokio Astr. Obs. (2nd ser.) 12, 263.
	Микроволновый	ϵ_1	Gough (1972) Can. J. Chem. 50, 3046
	Широкий	n, k [Рис] (с!)	Ray (1972) Appl. Opt. 11, 1836.
	ИК	Спектр. (Т)	Hardin, Harvey (1973) Spectrochim. Acta 38A, 1089
	3.1 мм	$\epsilon_{1,2}$	Perry, Straiton (1973) J. Appl. Phys. 44, 5180
	5, 8.6 м	ϵ_1 , Проп. (Т)	Johari, Charette (1975) J. Glaciol. 14, 293
	3 – 600 м	$\epsilon_{1,2}$	Johari (1976) J.Chem.Phys. 64, 3998
	17 – 300 мм	Погл. (Т)	Vickers (1977) NASA Contr. Rep. 135222
	УФ (Рис.) – Ближний ИК (Проп.)	Отражение	Harpe (1981) Icarus 47, 361
	ИК	Погл.	Fink, Sill (1982) in Wilkening L.L. (ed) Comets. Univ. Ariz. Press, p.164
	2.7 – 20	n, k [Рис.]	Wood, Roux (1982) J. Opt. Soc. Am. 72, 720.
	2.5 – 25	Спектры [Рис.]	Hagen et al. (1983) Astron. Astrophys. Suppl. 51, 389.
	2.5 – 20	Погл. [Рис.]	d'Hendecourt et al. (1986) Astron. Astrophys. 152, 130
	Микроволновый	ϵ_1 (Т)	Maetzler, Wegmueller (1987) J. Phys. D: Appl. Phys. 20, 1623
	Микроволновый	ϵ_2 [Апр.]	Hufford (1991) Int. J. Infr. Mill. Waves, 12, 677
0.25 - 0.4	Погл.	Perovich, Govoni (1991) Geophys. Res. Lett. 18, 1233	
Микроволновый	ϵ_1	Fujita et al. (1993) Annals Glaciol. 17, 276	
2.5 – 200	n, k (Т)	Hudgins et al. (1993) Astrophys. J. Suppl. 86,	

		[Табл.]	713.
	20 – 110	Погл. (Т) [Рис.]	Smith et al. (1994) Mon. Not. Roy. Astron. Soc. 271, 481.
	ИК	n, k	Clapp et al. (1995) J. Chem. Phys. 99, 6317
	1.4 - 7.8	n, k	Gosse et al. (1995) Appl. Opt. 34, 6582
	ИК	n, k (Т)	Trotta (1996) Ph.D. thesis, Univ. Grenoble
	2.5 – 16	Погл.	Jenniskens et al. (1997) J. Chem. Phys. 107, 1232.
	Микроволновый	Опт. Конст. (r!)	Maetzler (1998) in Schmitt B. et al. (eds) Solar System Ices. Kluwer, p.241.
крист.	0.31 - 1.1	Погл.	Sauberer (1950) Wetter Leben 2, 193 [3]
	1.4 - 2.7	К	Reding (1951) Ph.D. thesis, Brown Univ., Providence
	0.14 - 0.22	Коэф. погл.	Dressler, Schnepp (1960) J. Chem. Phys. 33, 270
	28 – 200	Пропуск. (Т)	Bertie, Whalley (1967) J. Chem. Phys. 46, 1271
	0.95 – 152	n, k (Т) [Табл.] (c!)	Irvine, Pollack (1968) Icarus 8, 324.
	240 - 600	Погл. (Т)	Whalley, Labbe (1969) J. Chem. Phys. 51, 3120
	2.7 - 33	n, k	Schaaf, Williams (1973) J. Opt. Soc. Am. 63, 726
	2.5 - 5	Спектр. (Т)	Sivakumar et al. (1978) J. Chem. Phys. 69, 3468
	0.4 - 0.7	n _{o,e}	Bogorodski, Gavriilo (1980) Led. Hidromet., Leningrad
	0.33 - 1.3	Погл.	Bogorodski, Gavriilo (1980) Led. Hidromet., Leningrad
	250 – 5000	k (Т) [Рис.]	Mishima et al. (1983) J. Chem. Phys. 78, 6399
	УФ	Показ. преломл. (Т)	Onaka, Kawamura (1983) J. Phys. Soc. Jpn. 52, 2947
	20 - 100	Погл. (Т)	Moore, Hudson (1992) Astrophys. J. 401, 353.
	1.45 - 2.5	k [Проп.+f]	Kou et al. (1993) Appl. Opt. 32, 3531.
	ИК	abs. [fig]	Moore et al. (1994) Astrophys. J. 428, L81.
	0.1-10 ⁵	n, k [Рис.] (c!)	Pollack et al. (1994) Astrophys. J. 421, 615.
0.5 - 5.5	k [Рис.]	Hansen et al. (1997) LPI 28, 505.	
Аморф.	0.14 - 0.22	Коэф. погл.	Dressler, Schnepp (1960) J. Chem. Phys. 33, 270
	0.43 - 0.7	n [Рис.]	Seiber et al. (1971) Appl. Opt. 10, 2086.
	0.16 - 0.32	n, k [Рис.]	Browell, Anderson (1975) J. Opt. Soc. Am. 65, 919.
	2.7 - 3.3	n, k (Т) [Рис.]	Bergren et al. (1978) J. Chem. Phys. 69, 3477.
	0.3 - 5.0	n, k [Рис.] (c!)	Wiscombe, Warren (1980) J. Atmos. Sci. 37, 2712.
	2.5 - 80	n, k [Табл.]	Leger et al. (1983) Astron. Astrophys. 117, 164.
	2.5 - 15	n, k [Табл.]	Mukai, Kraetschmer (1986) Earth, Moon & Planets 36, 145.

	Микроволновый	ϵ_2	Wegmueller (1986) Dipl. Thes., Inst. Appl. Phys., Univ. Bern
	ИК	abs. [fig]	Moore et al. (1994) Astrophys. J. 428, L81.
		n (T) [Рис.+Проп.]	Berland et al. (1995) Geophys. Res. Lett. 22, 3493.
	Ближний ИК	.	Roush (1997) LPI 28, 1199
	2.7 - 21	Спектры (T) [Рис.]	Maldoni et al. (1998) Mon. Not. Roy. Astron. Soc. 298, 251.
Гекс.	1.4 - 2.5	Погл. (T)	Reding (1951) Ph.D. thesis, Brown Univ., Providence
	2 - 250	n, k [Табл.]	Zolotarev (1970) Opt. Spectr. 29, 1125.
	0.18 - 0.19	Коэф. погл.	Minton (1971) J. Phys. Chem. 75, 1162
	0.16 - 0.32	n, k [Рис.]	Browell, Anderson (1975) J. Opt. Soc. Am. 65, 919.
	0.17 - 0.18	Коэф погл.	Shibaguchi et al. (1977) J. Phys. Soc. Jpn. 42, 152
	0.4 - 1.4	Погл.	Grenfell, Perovich (1981) J. Geophys. Res. 86, 7447
	0.044 - 0.16	$\epsilon_{1,2}$	Seki et al. (1981) J. Phys. Soc. Jpn. 50, 2643
	0.044 - 10 ⁷	n, k (T) [Проп.+Рис.] (с!)	Warren (1984) Appl. Opt. 23, 1206.
	1.4 - 20.7	n, k [Табл.]	Toon et al. (1994) J. Geophys. Res. 99, 25631.
	1.2 - 2.7	Коэф. погл. (T) [Рис.]	Grundy et al. (1998) LPI 29, 1941
	1 - 2.7	Коэф. погл. (T) [Рис.]	Grundy et al. (1998) J. Geophys. Res. 103, 25809.
Облуч.	20 - 100	Погл. (T) [Рис.]	Moore, Hudson (1992) Astrophys. J. 401, 353
	2.4 - 16.7	Погл. (t) [Рис.]	Gerakines et al. (1996) Astron. Astrophys. 312, 289

Аморф. – аморфный, крист. – кристаллический, гекс. – гексагональный, облуч. – облученный; погл. – поглощение; $\epsilon_{1,2}$ – диэлектрические функции; n, k – показатели преломления (реальная и мнимая часть); о, е – обыкновенный/необыкновенный пучки; отр. – отражательная способность; проп. – пропускание; (T) – зависимость от температуры; [Рис.] – рисунок; [Табл.] – таблица; [Табл.+ Рис.] – таблица и рисунок; (с!) – подборка данных; (r!) – обзор; опт. конст. – оптические константы.

В расчетах использованы данные сайтов (<http://spec.jpl.nasa.gov/>, отдавая предпочтение Submillimeter, Millimeter, and Microwave Spectral Line Catalog (JPL Submillimeter Catalog), HITRAN Data Bank (результаты расчетов значительно расходятся с экспериментальными данными), <http://spec.jpl.nasa.gov/ftp/pub/catalog/catdir.html>) и <http://www.teraspectr.ru/news/70-2013-05-30-06-49-08>, а также, данные из работы Н. М. Pickett, R. L. Poynter, E. A. Cohen, M. L. Delitsky, J. C. Pearson, and H. S. P. Muller, JQSRT 60, 883, (1998). По компилированным данным, с помощью разработанного программного обеспечения, освоен расчет спектров пропускания паров воды и газов. Выявлено, что спек-

тры поглощения жидкой воды, как основного возмущающего фактора при измерении спектральных абсорбционных свойств биологических объектов в условиях реальной атмосферы, а также льдов в различном агрегатном состоянии, не имеют или имеют предельно слабые селективные свойства.

Для проведения измерений использовался терагерцовый спектрометр, созданный в Национальной физической лаборатории, г. Лондон (Великобритания). В дальнейшем, также планируется использовать ТГц-спектрометр в Лаборатории газовых лазеров ИСЭ СО РАН, приобретённого в рамках проекта СО РАН «Создание сверхмощного фемтосекундного лазерного комплекса и разработка новых технологий на его базе».

Разработаны методики определения необходимых энергетических характеристик ТГц излучения для регистрации спектров поглощения биологических объектов, являющихся сложной функцией состава, толщин и степени обводнённости. В частности, за критерий достаточности мощности терагерцового излучения предложено использовать соответствие сравниваемых измеренных и хорошо известных (в плане корректности) спектров поглощения каких-либо газов. В качестве опорного спектра рекомендован спектр поглощения паров воды в условиях эксперимента (рис.63). На рис.63а приведена иллюстрация применения данной методики для условий эксперимента в приземной атмосфере по данным работы Н. М. Pickett, R. L. Poynter, E. A. Cohen, M. L. Delitsky, J. C. Pearson, and H. S. P. Muller, *JQSRT* **60**, 883, (1998) с разрешением 0.1 см^{-1} .

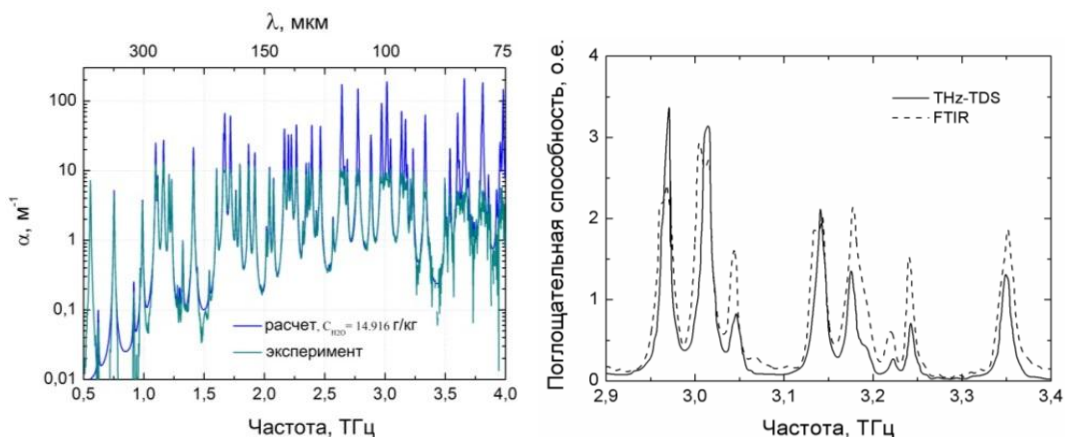


Рис. 63. Расчетные и экспериментально определенные спектры поглощения паров воды (слева - а) и сравнение спектров поглощения паров воды измеренных THz-TDS и ИК-Фурье спектрометром (FTIR) (справа – б).

На рис. 63(а) видно, что различие несоответствия интенсивностей в изолированных структурах сравниваемых экспериментальных и расчетных спектров возрастает с частотой (особенно после 1.75 ТГц), где линии поглощения паров воды характеризуются более высоким коэффициентом поглощения. Проверка линейно-

сти спектрометра на примере известного спектра пропускания легированного кристалла GaSe:S (рис. 64) показала, что он линеен до 2.75 ТГц.

Следовательно мощность излучения ТГц спектрофотометра недостаточна для корректных измерений спектров поглощения паров воды в диапазоне 1.75-2.75 ТГц и должна быть увеличена или уменьшена толщина объекта (уменьшена его поглощательная способность) для соответствия спектров.

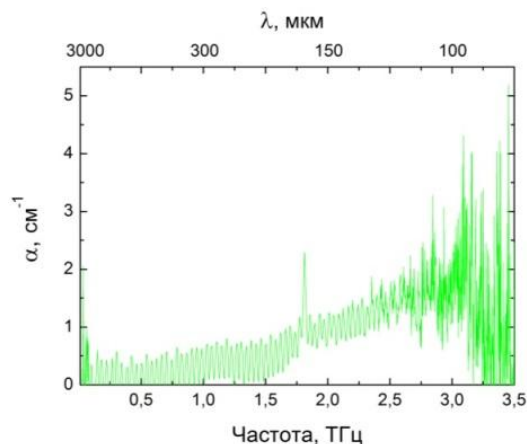


Рис. 64. Экспериментально определенный спектр поглощения кристалла GaSe:S(4 масс.%)

Показано, что методами ТГц спектроскопии могут быть определены спектры поглощения, пригодные для использования в исследовании и характеристики биологических объектов и объектов их содержащих. К таковым, в частности, относятся: ткани из волокон естественного происхождения (лен, хлопок), растительные масла, органические соединения из растительного сырья (сахароза), сухая и гнилая древесина, обезвоженная продукция сельского хозяйства. Примеры измеренных спектров поглощения приведены на рис. 65.

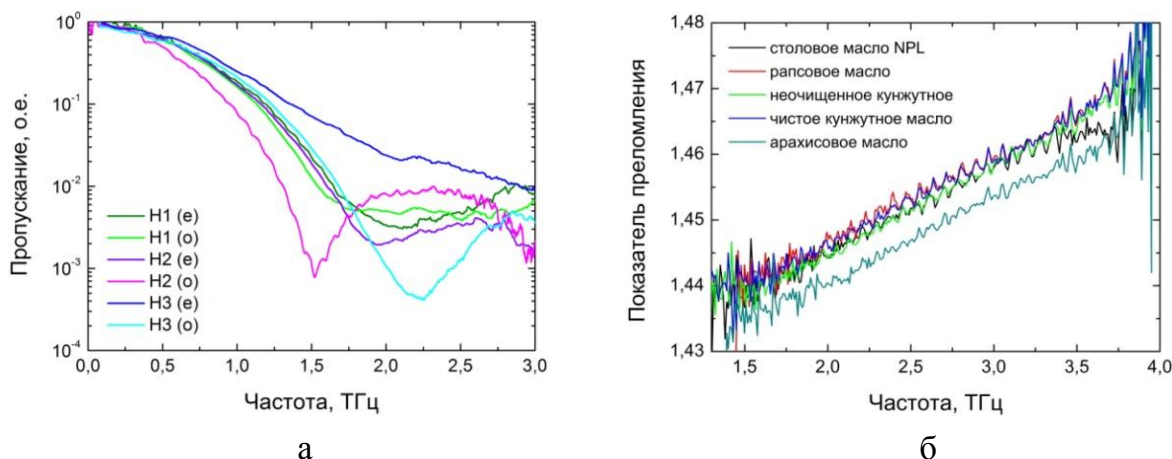


Рис. 65. Спектр поглощения хлопковой и хлопково-содержащих тканей: Н1 – 100% хлопок (15-17 нитей/см); Н2 – 93% хлопок, 7% нейлон (11-14 нитей/см); Н3 – 38% хлопок, 49 % лен, 13% вискоза (14 -17 нитей/см); здесь поляризация зондирующего ТГц излучения: о – параллельно основе, е – набивке ткани (а); дисперсия показателей преломления растительных масел (б).

Установлено, что спектры ослабления различных биологических объектов (в частности волокон, изделий из них – тканей, древесины, листьев и т.п.) в значительной степени определяются эффектами рассеяния на периодических структурах в них. Для уверенной идентификации химического состава объектов предложено проводить специальную подготовку образцов, а именно: измельчение, наложение слоев с дезориентацией исследуемых образцов, прессованием образцов в тонкие слои (в том числе с подогревом для возможного расплава), варьирование температуры (для выявления фоновых спектров поглощения). Получены первые результаты успешного разделения вкладов рассеяния и поглощения в спектры ослабления оптического излучения биологических объектов.

Показано, что в тканях, объявленных натуральными, при наличии волокон искусственного происхождения, в районе 3,3, 7,8 и 12,4 мкм имеются интенсивные хорошо разрешенные линии Рамановского рассеяния, обусловленные наличием химической связи С-Н. Это указывает на возможность создания комплексных оптических систем для анализа тканей. Полученные результаты пригодны для решения практических задач идентификации тканей из естественных и синтетических волокон (выявление контрафактной продукции).

Методом терагерцовой спектроскопии с временным разрешением на пропускание измерен спектр поглощения широко используемых растительных масел: подсолнечного, арахисового, кукурузного и рапсового (рис.65,б). Установлено, что спектр пропускания растительных масел и волокон из биологических объектов в ТГц диапазоне не содержит специфичных структур в спектрах поглощения, пригодных для идентификации, вероятно из-за сложности химического состава. Предположено, что примесь пальмового масла (обладающего токсичными свойствами) в растительных маслах (контрафактное масло) в принципе может быть идентифицирована по специфичным структурам в спектре поглощения пальмового масла. Однако, это должны быть спектры выделенных химических компонентов с полярными свойствами, путем оптимизации толщины измеряемого слоя и режима измерения, при применении предварительной температурной обработки и иными техническими методами, а также с использованием комплексного метода оптических измерений при создании измерительного прибора.

С помощью ТГц анализатора спектра определён спектр поглощения обезвоженной сахарозы и сопутствующий спектр паров воды в атмосфере. Показано, что высокий коэффициент поглощения воды в жидкой фазе может быть использован в индустрии сельского хозяйства для селективного отбора спелых ягод, а также испорченных овощей и фруктов.

Проект VI. 52.2.6. Структура разнообразия в экосистемах бореальных лесов: взаимодействие и сопряженные трансформации компонентов.

Основной результат 2013 г. В Восточной Сибири изучена естественная гибридизация сибирского и кедрового стланика. Гибриды в количестве от 0,1 до 100 шт./га встречались по всей гибридной зоне. Как правило, они были относительно единообразны и занимали строго промежуточное положение между видами. В некоторых популяциях разнообразие гибридов было очень высоким и перекрывалось с разнообразием видов. Особенно глубокая интрогрессия между видами выявлена на Алданском нагорье. Здесь мтДНК кедрового стланика имели не только все гибриды, но и все без исключения типичные по морфологии деревья кедрового стланика сибирского. Два изученных вида кедровых сосен и их гибриды представляют собой единую надвидовую генетическую систему, внутри которой происходит интенсивная сетчатая эволюция, расширяющая генетическое разнообразие и адаптивные возможности.

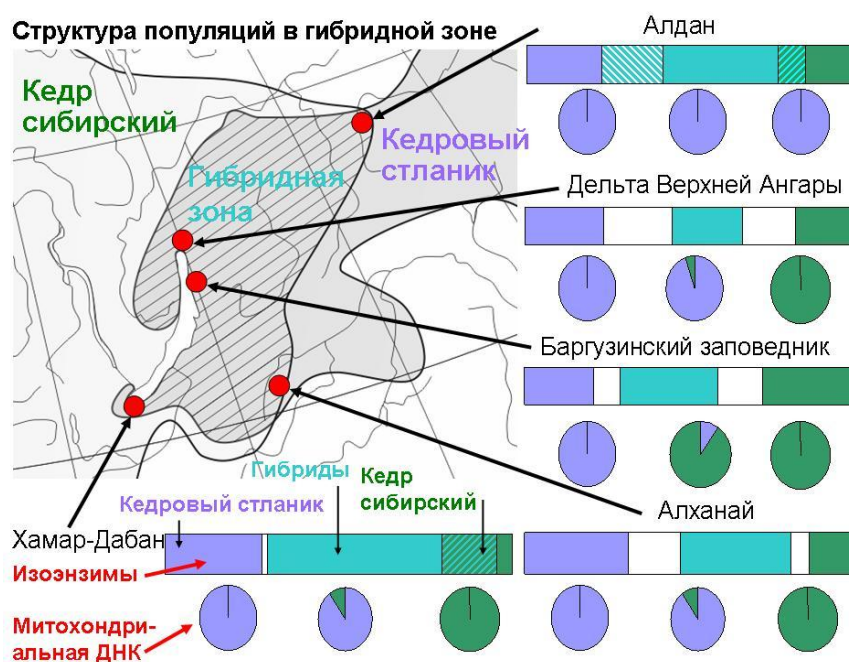


Рис. 66. Структура популяций в гибридной зоне кедрового стланика и сибирского кедра. Полосы – диапазоны генетического разнообразия видов и гибридов по дифференцирующей их первой главной компоненте (на основе многомерного анализа мультилокусных изоэнзимных генотипов). Круги – доля мтДНК кедрового стланика и сибирского кедра в популяциях видов и гибридов (по результатам анализа длины фрагмента nad1int2)

Результат получен совместно с Институтом общей генетики РАН (Москва) и Институтом химической биологии и фундаментальной медицины (Новосибирск)

Поясняющий текст к основному результату: Естественная гибридизация кедра сибирского и кедрового стланика как явление сетчатой эволюции изучена в области перекрытия ареалов 2 видов (Прибайкалье и Забайкалье). Наблюдения проведены в 12 пунктах на территории гибридной зоны. Гибриды в количестве от 0,1 до 100 шт./га встречаются по всей гибридной зоне (Хамар-Дабан, Хентей-Чикойское, Становое и Алданское нагорья). Встречаемость гибридов определялась скорее локальными, чем региональными экологическими факторами. В большинстве популяций гибриды по комплексу морфологических признаков (габитус, структура побега, анатомия хвои, морфология шишек) занимают строго промежуточное положение между видами. Однако есть и такие популяции, где гибриды разнообразны в этом отношении. Эти популяции обнаружены в крайних точках гибридной зоны – юго-западной (Хамар-Дабан) и северо-восточной (Алданское нагорье). Здесь гибриды явно дифференцированы на две примерно равные по численности группы: (1) типичные, (2) относительно вертикальные 1-ствольные растения, которые по морфологии занимали примерно промежуточное положение между типичными гибридами и кедром сибирским.

Генетическая структура популяций в гибридной изучалась методом изоэнзимного анализа. Генотипы нескольких сотен растений установлены по 21 аллозимному локусу, которые кодируют 15 ферментных систем. Распределение генотипов в плоскости главных компонент по результатам многомерного анализа мультилокусных генотипов, показало, что большая часть изменчивости приходится на первую главную компоненту, которая дифференцирует виды и гибриды. Поэтому мы сочли возможным использовать «координату» каждого генотипа на этой оси как своего рода гибридный индекс, а совмещенный «спектр» видов и гибридов по этому индексу рассматривать как некий «генетический портрет» единой популяции. В популяциях из центральной части гибридной зоны, где среди гибридов абсолютно преобладали промежуточные по морфологии, предположительно гибриды первого поколения, их генетическое разнообразие было невелико и его диапазон не перекрывался с диапазонами видов. По окраинам гибридной зоны генетическое разнообразие гибридов, как и морфологическое, было значительно выше. Его диапазон приближался к диапазонам разнообразия родительских видов ли даже перекрывался с ними, по-видимому, за счет наличия в популяции беккроссов и гибридов следующих поколений. При этом разнообразие гибридов было сдвинуто в сторону тех видов, которые преобладают в составе растительных сообществ данного региона: на юго-западе это кедр сибирский, на северо-востоке – кедровый стланик. В последнем случае разнообразие гибридов было особенно велико.

Вторым методом анализа генетической структуры популяций было определение длины фрагмента *nad1int2* митохондриальной ДНК, который является видоспецифичным маркером (Gugerli et al., 2001). Во всех изученных популяциях, кроме Алданской, чистые виды имели собственную мтДНК, а гибриды – мтДНК одного из родительских видов в зависимости от локальных условий. На Алданском нагорье все без исключения проанализированные растения имели мтДНК кедрового стланика! Это означает, что даже обычные по фенотипу особи кедра сибирского на Алданском нагорье, на самом деле, являются гибридами: продуктом очень древней интрогрессии. Настолько древней, что от одного из родительских видов, в данном случае, от кедрового стланика, у гибридов осталась только митохондрии, а весь ядерный геном через многократные скрещивания гибридов между собой и направленный отбор оказался полностью состоящим из элементов другого родительского вида – кедра сибирского. Митохондрии у сосновых наследуются исключительно по женской линии. Это позволяет предположить, что «чистого» сибирского кедра на Алданском нагорье вообще никогда не было, а все генетические элементы этого вида были привнесены сюда с пылью из западных районов. Впоследствии от кедрового стланика у гибридов осталась только митохондрии, а ядерный геном через многократные скрещивания гибридов между собой и направленный отбор оказался почти полностью состоящим из элементов другого родительского вида.

Таким образом, два вида кедровых сосен – кедр сибирский и кедровый стланик – представляют собой единую надвидовую систему, внутри которой происходит интенсивная сетчатая эволюция, расширяющая генетическое разнообразие и адаптивные возможности образующих ее видов и гибридов.

Остальные результаты 2013 г.

Структурно-функциональные признаки ассимиляционного аппарата во многом определяют продуктивность и устойчивость растений. Эти признаки подвержены как модификационной, так и генотипической изменчивости. Важнейшим фактором изменчивости являются климатические условия. Кедр сибирский распространен в очень широком диапазоне климатических условий: от лесотундры до южных границ лесной на Западно-Сибирской Равнины и от нижней до верхней границ лесного пояса в горах Южной Сибири. Наиболее эффективный метод исследования характера и природы климатически обусловленного внутривидового разнообразия растений – это создание географических культур и наблюдения за ними. Если растительный материал различного происхождения, выращенный в одинаковых условиях, по каким-то признакам существенно различается, то эти признаки считаются генотипически обусловленными. Наоборот, признаки, по ко-

торым различий между климатическими экотипами нет, считаются подверженными, в основном, модификационной изменчивости. Цель исследования – сравнить структурно-функциональные особенности хвои местного (юг Томской области, южная тайга) экотипа, сформировавшегося в благоприятных для роста условиях, и двух экотипов из районов с суровым климатом: северного (Уренгой, лесотундра) и высокогорного (верхняя граница леса в горах Западного Саяна). Работа проведена в клоновом архиве на научном стационаре «Кедр» ИМКЭС СО РАН. Сбор образцов 2-летней хвои проводили в конце июля. Было проанализировано 9 структурно-функциональных показателей, которые были условно разбиты на три группы: (1) предположительно имеющие адаптивное значение для выживания в экстремальных; (2) характеризующие интенсивность морфогенеза и роста; (3) функциональные признаки, характеризующие фотосинтез (Рис. 2).

В естественных условиях хвоя северных и высокогорных экотипов характеризуется большими размерами смоляных ходов по сравнению с южными и низкогорными экотипами, что связано с возрастанием в неблагоприятном климате защитной роли терпенов и терпеноидов, входящих в состав смолы. В нашем опыте у всех трех экотипов площадь смоляных каналов была одинаковой, что указывает на модификационную природу разнообразия этого признака. Напротив, повышенная устьичная плотность и более мощная эпидерма у северного и высокогорного экотипов по сравнению с южно-таежным закреплены генетически. В лесотундре высокая устьичная плотность, по-видимому, обусловлена высоким уровнем увлажнения, на верхней границе леса в горах - низкой концентрацией углекислоты в воздухе. Различия в толщине покровной ткани, видимо, связаны с тем, что она играет важную роль в защите хвои от зимнего иссушения, высокой инсоляции и ультрафиолетового излучения, т.е. от условий, характерных для высоких широт и высокогорий.

Между тремя экотипами не было обнаружено различий по числу клеток мезофилла на поперечном срезе. Это означает, что интенсивность цитогенеза в этой важнейшей ткани, если и различается в разных климатических условиях, то эта изменчивость не имеет генетической природы. По всем признакам, характеризующим собственно рост на уровне отдельной клетки, ассимилирующей ткани и листа в целом, южнотаежный экотип существенно превосходил два других. Следовательно, интенсивность роста на всех этих уровнях детерминирована генетически: у экотипа, сформировавшегося в благоприятных для роста климатических условиях, она значительно выше, чем северного и высокогорного экотипов.

Рост в значительной мере есть функция процессов ассимиляции. Не удивительно, что в нашем опыте у экотипов из неблагоприятных для роста климатиче-

ских условий содержание хлорофиллов было почти на треть, а интенсивность фотосинтеза - на четверть ниже, чем у южно-таежного экотипа. Низкое содержание зеленых пигментов отмечалось нами ранее у кедров сибирского в высокогорье, и объяснялось их деструкцией под влиянием комплекса неблагоприятных факторов, прежде всего, высокой солнечной радиации. Низкое количество хлорофиллов в хвое северных и высокогорных экотипов, выращенных в благоприятных условиях южной тайги свидетельствует также о генотипически обусловленной низкой скорости их синтеза. Возможно, это является защитным механизмом от избыточной энергии поглощенной молекулами хлорофилла, которая может вызвать повреждение фотосинтетического аппарата.

Таким образом, северный и высокогорный экотипы имели практически одинаковую структурно-функциональную организацию ассимиляционного аппарата, но по большинству характеризующих ее признаков существенно отличались от местного южно-таежного экотипа. Эти различия, в основном, генотипически обусловлены. Адаптивная стратегия северных и высокогорных экотипов направлена на повышение устойчивости к неблагоприятным климатическим факторам. Поэтому их хвоя характеризуется высокой устьичной плотностью и относительно толстыми покровными тканями. Для южно-таежного экотипа актуален ускоренный рост. Поэтому его хвоя отличается высоким содержанием хлорофилла, высокой интенсивностью фотосинтеза и, как следствие, высокой скоростью роста на уровне клетки, ткани и листа в целом. Новые знания о структурно-функциональной организации ассимиляционного у географических экотипов открывают дополнительные возможности для прогнозирования и моделирования реакции лесных древесных растений на изменения климата.

С использованием метода синтетического описания биологического разнообразия в многокомпонентных системах леса изучены особенности равнинных кедровых лесов на южной границе ареала в Западной Сибири и их трансформации в ходе деструктивной зоогенной сукцессии.

Установлены характерные признаки структурного, композиционного и функционального разнообразия южных островных кедровых экосистем, в сравнении с более северными аналогами: (1) сокращение типологического спектра насаждений и преобладание разнотравной группы типов леса; (2) широкое распространение монодоминантных кедровых древостоев, в разной степени ослабленных под действием природных и антропогенных факторов; (3) уменьшение сукцессионной сложности естественного возобновления до 2 пород (кедр сибирский, ель сибирская); (4) высокое флористическое разнообра-

зие травяного покрова; (5) обеднение видового состава лесной энтомофауны; (6) разнообразие местообитаний по увлажнению в диапазоне ступеней 67,6–75,1 при слабой изменчивости активного богатства почв – 8,0–9,0 ступени экологической шкалы Л.Г. Раменского.

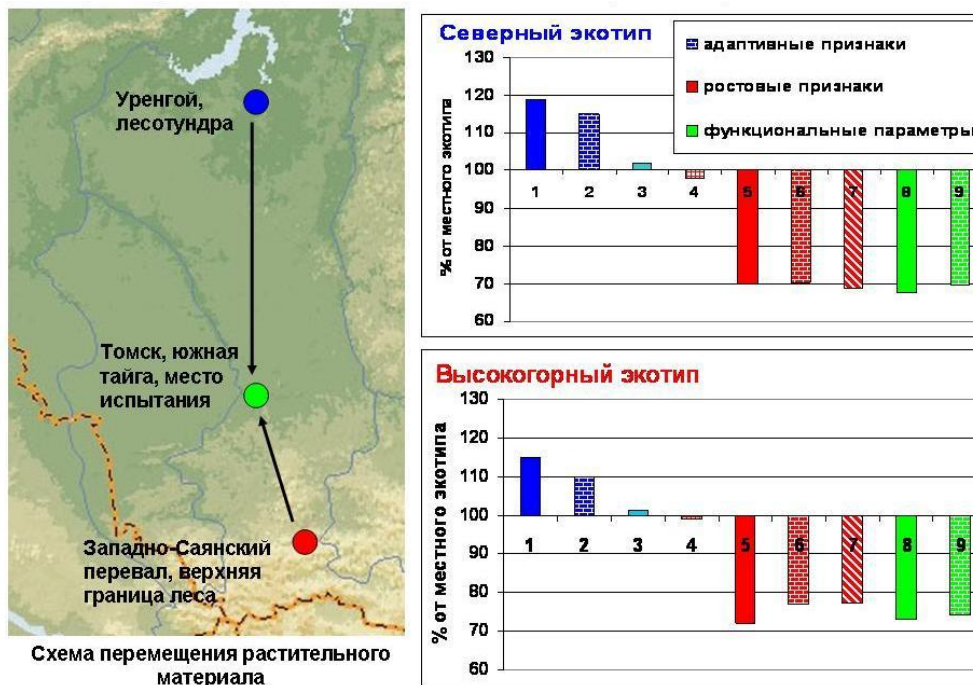


Рис. 67. Структурно-функциональные признаки двухлетней хвои различных экотипов кедров сибирского. 1 - устьичная плотность, 2 - толщина эпидермы, 3 - число клеток мезофилла, 4 - площадь смоляных каналов, 5 - длина хвои, 6 - площадь мезофилла на поперечном срезе, 7 - площадь клетки мезофилла, 8 - интенсивность фотосинтеза, 9 - сумма хлорофиллов.

В целом выявлена тенденция к ухудшению жизненного состояния кедровых древостоев с повышением уровня гидроморфности местообитаний (рис. 68). Лучшее состояние древостоев свойственно крупнопоротниково-хвоцево-мелкотравным лесам, занимающим экотопы со степенью увлажнения 70,0. Ослаблены крупнопоротниково-разнотравные и крупнопоротниковые леса, произрастающие в диапазоне 70,8–71,1 ступеней увлажнения местообитаний. Сильно ослаблены старовозрастные хвоцевые кедровники, приуроченные к местообитаниям с более высоким уровнем влагообеспеченности (ступень 71,8), и заболоченные кустарниковые травяно-моховые кедровники (ступень 75,1).

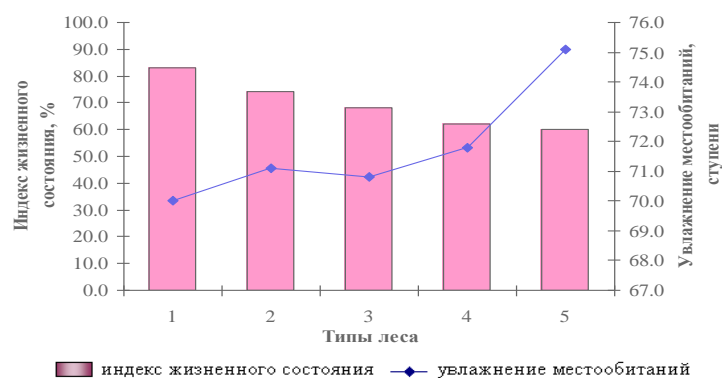


Рис. 68. Жизненное состояние древостоев кедрового сибирского разных типов леса в зависимости от условий произрастания. Типы леса: 1 – крупнопоротниково-хвощево-мелкотравный, 2 – крупнопоротниково-разнотравный, 3 – крупнопоротниковый, 4 – хвощевый, 5 – кустарниковый травяно-моховой.

Кедровые насаждения разнотравной группы типов леса наиболее сухих местообитаний (ступени увлажнения 67,4–69,1) на южной границе произрастания подвержены вспышкам массового размножения сибирского шелкопряда *Dendrolimus sibiricus* Tschetv., приводящим к деградации древостоев, которая усиливается по мере уменьшения уровня влагообеспеченности экотопов. Массовое размножение сибирского шелкопряда 2008–2010 гг. инициировало сопряженные трансформации компонентов фитоценозов (рис. 69). В нарушенных сообществах по мере усиления дефолиации кроны кедров гусеницами шелкопряда жизненное состояние древостоев ухудшалось, вплоть до полного распада древесного яруса, снизилась жизненность подрост, увеличилась видовая насыщенность фитоценоза и суммарное проективное покрытие видов травяного яруса вследствие изменения микроклиматических условий и уменьшения корневой конкуренции.

На месте исходных кедровых насаждений с полностью усохшим древесным ярусом сформировался фитоценоз нелесного типа – шелкопрядник рябиново-разнотравный, начальная стадия сукцессионного ряда со специфическим составом светолюбивых травянистых растений, густым подлеском из рябины сибирской и ослабленным малочисленным, преимущественно еловым возобновлением, с перспективой восстановления через длительно-производные смены растительности. Сообщества на менее пострадавших от шелкопряда участках при сохранении лесного типа фитоценоза представлены среднеполнотными разнотравными или малиново-осочково-разнотравными кедровниками с редким подростом ели, березы и осины и всходами кедров и будут развиваться через коротковосстановительные смены.

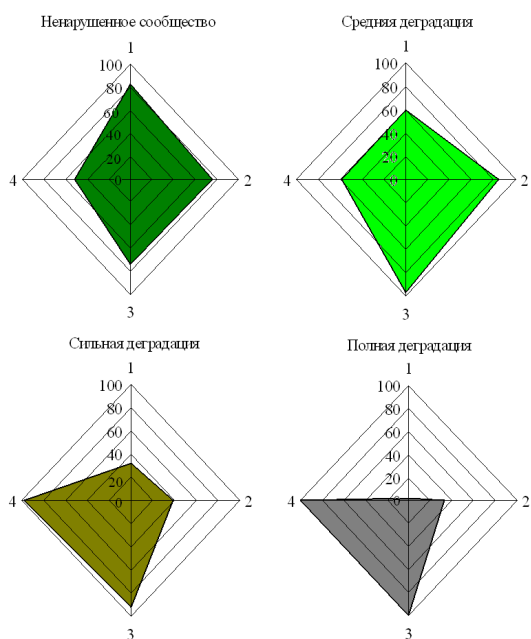


Рис. 69. Трансформация кедровых фитоценозов с разной степенью повреждения древесного яруса сибирским шелкопрядом. На осях полиграфа (в % от максимального значения каждого параметра в пределах урочища): 1 – индекс жизненного состояния древостоя; 2 – индекс жизненного состояния подроста; 3 – видовая насыщенность фитоценозов; 4 – суммарное проективное покрытие видов травяного яруса.

Главное последствие энтомогенной сукцессии южных кедровников – отгеснение кедра с сухих и продуктивных экотопов в более влажные и менее продуктивные, дальнейшее сужение их типологического разнообразия и области распространения на границе ареала.

1.2.2. РАБОТА, ВЫПОЛНЕННАЯ ПО ПРОГРАММЕ ПРЕЗИДИУМА РАН
Программа Президиума РАН № 4. Природная среда России: адаптационные
процессы в условиях изменяющегося климата и развития атомной энергетики
Проект № 4.2: Комплексный мониторинг современных климатических и
экологических изменений в Сибири.

1. По результатам анализа турбулентных тепловых потоков на границе океан-атмосфера в северной части Тихого океана установлено, что, начиная с 2000г., наблюдается стабилизация потоков в целом для акватории, а в районах течения Куросио и субполярного круговорота – их уменьшение.

В табл. приведены характеристики временных изменений температуры поверхности океана (SST), потоков скрытого (LE) и явного тепла (S). Анализ величин трендов показал, что в выбранных районах тренд SST в течение года положителен, при этом наибольшая величина приходится на районы, расположенные в средних широтах (0,18 °C/10 лет). Тренд скрытого тепла, также, положителен, с максимумом в районе течения Куросио в декабре (6,47 Вт/м²/10 лет). Тренд явного тепла в северных районах отрицателен.

Таблица – Линейные тренды величины SST ($^{\circ}\text{C}/10$ лет), LE и S ($\text{Вт}/\text{м}^2/10$ лет) и их тренды на территории Тихого океана за период 1975-2011 гг.

Районы	Величина	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Район	SST _{tr}	0,22	0,3	0,18	0,14	0,08	0,14	0,28	0,22	0,25	0,27	0,31	0,26
течения	LE _{tr}	4,31	2,44	5,67	5,38	5,18	2,84	5,66	5,01	7,1	1,15	4,56	6,47
Курисио	S _{tr}	-0,09	-1,91	-0,31	0,26	1,6	0,5	0,94	1,34	1,33	0,59	0,37	0,21
Субтропический	SST _{tr}	0,13	0,17	0,07	0,08	0,14	0,17	0,18	0,14	0,06	0,04	0,05	0,08
круговорот	LE _{tr}	5,26	6,31	1,7	2,12	2,18	2,18	4,49	5,18	5,82	6,7	3,76	2,81
	S _{tr}	0,38	1,14	0,22	0,39	0,67	0,37	0,97	0,72	1,14	1,4	0,95	0,29
Субполярный	SST _{tr}	0,1	0,11	0,09	0,15	0,15	0,18	0,31	0,35	0,2	0,23	0,3	0,15
круговорот	LE _{tr}	1,53	0,45	-0,27	0,99	-0,01	0,78	1,13	3,21	1,42	1,67	1,71	3,2
	S _{tr}	0,2	-2,04	-1,61	-0,8	-0,63	-0,03	0,12	0,7	-0,6	-0,46	-1,29	-0,12

На поясняющих рисунках приводятся для декабря пространственное распределение SST и LE (рис. 70), и их временной ход (рис. 71) в районе течения Курисио. Такой выбор объясняется наибольшим теплообменом в районе течения Курисио с максимумом в декабре.

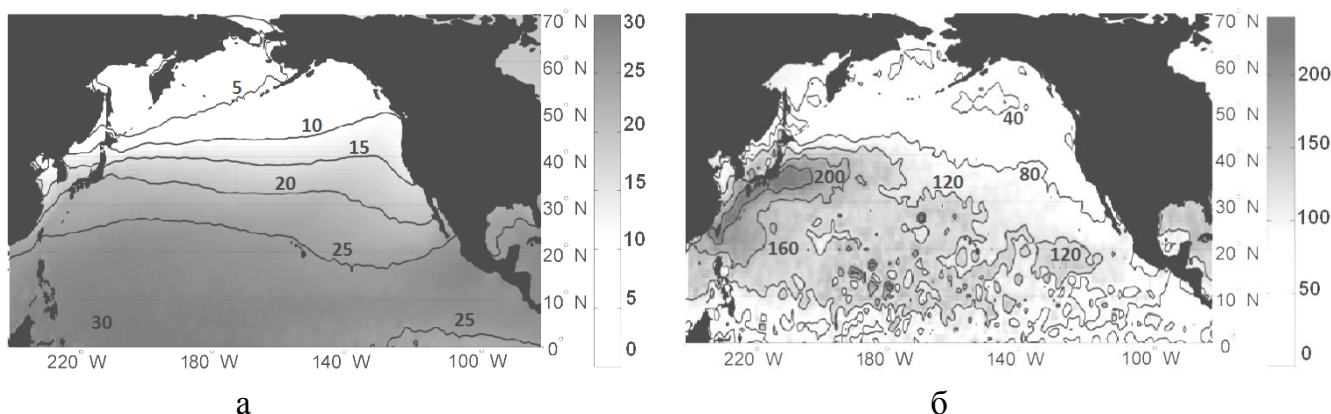


Рис. 70 Пространственное распределение SST ($^{\circ}\text{C}$) (а) и LE ($\text{Вт}/\text{м}^2$) (б) по территории Тихого океана в декабре за период 1975-2011 гг.

Установлено, что в декабре за период 1975–2011 гг. SST (рис. 70,а) увеличилась по направлению с севера на юг, в то время как область высоких значений LE (рис. 70,б) приходилась на средние широты, с максимумом в районе течения Курисио и минимумом на севере Тихого океана.

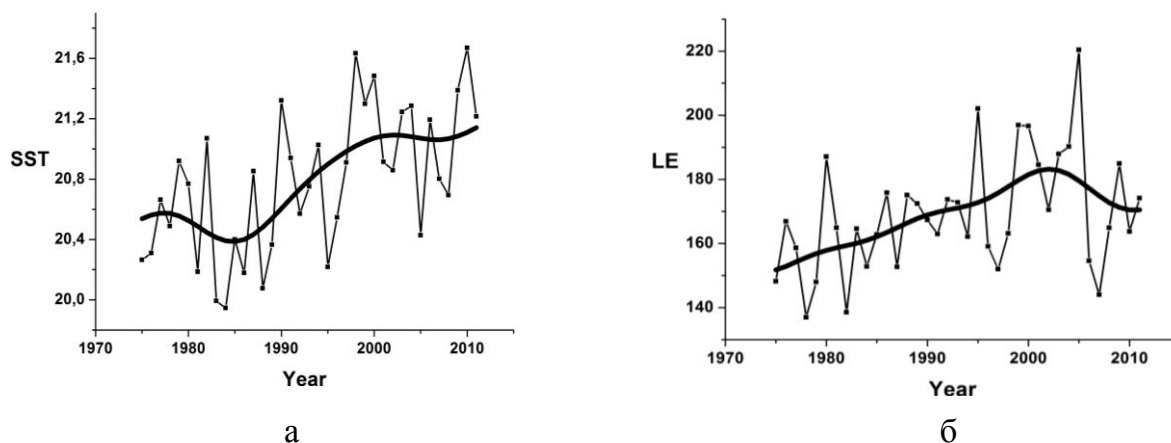


Рис. 71 Временной ход SST ($^{\circ}\text{C}$) (а) и LE ($\text{Вт}/\text{м}^2$) (б) в районе течения Куроисио в декабре за 1975-2011 гг.

В результате анализа временного хода SST (рис. 71,а) показано, что в районе течения Куроисио в декабре до 1985 г. температура падала, затем наблюдался её рост, продолжающийся до 2000 г., а в последнее десятилетие SST изменялась незначительно. Изменение SST совпадает с изменением LE, как показано на рис. 71,б. Видно увеличение LE до 2003 г., с его последующим уменьшением. Прямую зависимость тепловых потоков от SST можно связать с тёплым течением Куроисио, которое переносит большое количество тепла, поэтому SST в средних широтах зависит от адвекции тепла, а не от характеристик атмосферы. Временную изменчивость LE в Тихом океане также можно объяснить изменением разности влажности у поверхности океана и воздуха. Временной ход этих величин подобен.

2. Обнаружено и количественно оценено возрастание согласованной реакции дерева на увеличение солнечной активности в ходе вегетационного периода.

Были введены ортогональные составляющие процессов, отличающиеся совпадением и несовпадением существенных признаков (CS- и NS-составляющие соответственно). Разработаны новые алгоритмы для анализа информации, содержащейся в данных наблюдений. В результате применения обозначенного феноменологического подхода для анализа дендрохронологий совместно с рядом Вольфа, было обнаружено и количественно оценено возрастание согласованной реакции дерева на увеличение солнечной активности в ходе вегетационного периода. Тем самым на основе данных измерений обоснован принцип о проявлении внешнего вынуждающего воздействия и верифицирован алгоритм, основанный на сходстве существенных признаков.

Для большинства исследованных TRW-хронологий наблюдаются общие тенденции изменения чувствительности составляющих к вариациям солнечной ак-

тивности в течение сезона роста, которые отражены в изменениях критерия чувствительности r (рис. 72).

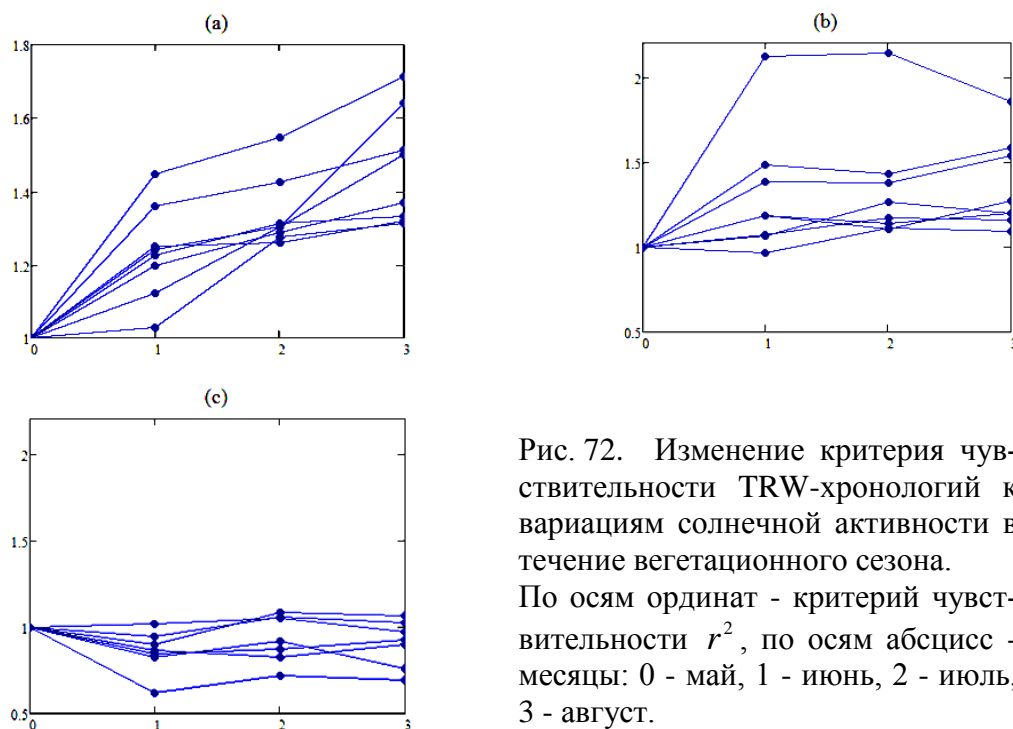


Рис. 72. Изменение критерия чувствительности TRW-хронологий к вариациям солнечной активности в течение вегетационного сезона. По осям ординат - критерий чувствительности r^2 , по осям абсцисс - месяцы: 0 - май, 1 - июнь, 2 - июль, 3 - август.

По характеру изменения критерия чувствительности r TRW-хронологии разделены на три группы: r^2 возрастает монотонно с мая по август в 1,3–1,7 раза; монотонность возрастания r не наблюдается, но к концу вегетационного периода он также выше, чем в начале; r^2 увеличивается в 1,2–1,8 раза. К третьей группе были отнесены хронологии, поведение критерия чувствительности которых не имеет тенденций к возрастанию. В семи случаях r^2 колеблется вокруг значения ноль, либо убывает (рис. 72,с). Это происходит для TRW-хронологий, соответствующих заболоченным участкам леса (3 из 7) либо участкам леса, на которых деревья сосны обыкновенной росли в подчиненном ярусе (3 из 7), испытывали антропогенное воздействие (1 из 7). Таким образом, угнетенные деревья не показывают усиления чувствительности к солнечной активности в течение вегетационного сезона.

Солнечная активность в период вегетации монотонно возрастает (табл.). Наблюдается монотонное усиление реакции деревьев r^2 на увеличение солнечной активности в 8 случаях из 23 (рис. 72,а), и немонотонное в 8 (рис. 72,б).

Таблица – Суммы (s) среднемесячных значений чисел Вольфа (в % от наибольшей)

месяцы	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
s	95,9	94,3	94,2	94,0	96,0	97,5	98,1	100	99,9	98,8	93,1	99,1

Таким образом, по данным измерений выявлено новое явление, аналогичное известному явлению «затягивания» в радиофизике, тем самым подтверждена гипотеза о проявлении вынуждающего воздействия в иницилируемых им процессах.

Полный отчет в соответствии с требованиями отправлен координатору.

1.2.3. РАБОТА, ВЫПОЛНЕННАЯ ПО ИНТЕГРАЦИОННЫМ ПРОЕКТАМ СО РАН

Проект №46 «Нелинейные халькогенидные кристаллы для сверхширокополосных преобразователей лазерных частот»

Разработка физико-химических основ и новых технологий создания сверхширокополосных параметрических преобразователей лазерных частот на базе халькогенидных нелинейных кристаллов обеспечивает прогресс в решении фундаментальных проблем физики конденсированных состояний в части «Физика полупроводников и диэлектриков, полупроводниковые, композитные, нанокристаллические и фотоннокристаллические материалы и структуры», оптики в части «Новые оптические материалы, технологии и приборы, их применение», химии наночастиц и нанобъектов в части «Создание нового поколения гибридных материалов различного функционального назначения для использования в технике, в медицине, в химической технологии, включая композиты, материалы для квантовых компьютеров и оптоэлектроники».

Наиболее важные научные результаты, полученные в результате второго года работ по проекту, касаются:

- создания технологии выращивания легированных нелинейных кристаллов GaSe рекордно высокого оптического качества, что позволяет управлять физическими свойствами на стадии технологических процессов выращивания;
- измерения анизотропии оптического поглощения кристаллов GaSe и GaS в ТГц диапазоне спектра, и создания дисперсионных уравнений для кристаллов $\text{GaSe}_{1-x}\text{S}_x$;
- экспериментального определения (ИСЭ, ИМКЭС) физической природы разрушений в выращенных кристаллах под воздействием импульсов различной (фс- и нс-) длительности.

По результатам выполнения проекта за 2013 г. опубликовано 5 статей в рецензируемых научных журналах, ещё 2 статьи направлено в печать, сделано 10 докладов на российских и международных конференциях.

Полный отчет в соответствии с положением о конкурсе отправлен секретарю конкурсных комиссий Президиума СО РАН и в ОУС по наукам о Земле.

Проект № 69 «Интегрированные исследования климатических, гидрологических и экосистемных процессов на территории болот Западной Сибири»

Блок 1. Исследования климатических изменений и роли региональных климаторегулирующих факторов в Западной Сибири.

Изучена микроклиматическая специфика болотных экосистем по данным инструментальных наблюдений. Среднемесячная температура воздуха в заболоченном лесу в зимнее время на 0,6-1,0 °С выше, чем на опорной метеостанции. В летнее время температура воздуха на болоте ниже на 0,2-0,6 °С.

Блок 3. Исследование региональных особенностей экосистемных изменений на территории болот Западной Сибири.

Выполнена оценка составляющих элементов углеродного баланса олиготрофного болота «Бакчарское»: чистой первичной продукции, скорости трансформации и эмиссии CO₂ и CH₄. Выявлено, что современная (текущая) скорость связывания углерода болотами (NEP) составляет около 50 % от чистой первичной продукции болотных экосистем, изменяясь от 45 до 64 % в зависимости от типа фитоценоза.

Болота изолированных понижений малых размеров на юге таежной зоны, различающиеся по типу растительности, мощности и свойствам накопленного органического слоя, ранжированы в ряды заболачивания. Взаимосвязь западных комплексов с водосборами обуславливает их водорегулирующую и буферную функции на освоенных территориях.

Блок 4. Палеоисследования природно-климатических изменений в голоцене по разрезам болотных и озерных отложений на территории Западной Сибири.

По данным комплексного (ботанический состав, степень разложения, зольность, плотность, влажность и pH) детального (с шагом 2,5 - 5 см) исследования среднетаежного торфяного разреза выполнена реконструкция растительных палеосообществ и водного режима болотных палеоэкотопов. Всего в развитии болота выявлены 7 крупных этапов и 30 стадий-сукцессий палеосообществ и значительные (от 2 до 9 ступени индекса влажности) изменения водного режима, что свидетельствует о чутком отклике болота на климатические изменения голоцена и подтверждает оптимальность выбора объекта для разработки высокоразрешающей реконструкции функционального состояния болот средней тайги и климата.

Дополнительное датирование разрезов южнотаежного озера Кирек (по ¹³⁷Cs и AMS) позволило получить более точную модель осадконакопления в озере Кирек за весь голоцен, которые будут использованы для реконструкции климата голоцена по биоиндикаторам и геохимическим маркерам.

Для поиска новых индикаторов климатических изменений проведен элементный анализ золы торфов разреза Темное 7 рентгено-флуоресцентным методом, выявлена отрицательная корреляционная зависимость Si и Fe, что свидетельствует о разных источниках их поступления в торфяную залежь.

Полный отчет в соответствии с положением о конкурсе отправлен секретарю конкурсных комиссий Президиума СО РАН и в ОУС по наукам о Земле.

**Проект № 70 «Анализ и прогноз проявлений вынуждающего
воздействия в ритмике метеорологических полей
Северного полушария Земли»**

1. Сформирована база данных средних месячных температур приземного воздуха для территории Евразии. Общее количество метеорологических станций составило 581, период формирования матрицы 1955-2010 гг.

2. Разработаны алгоритмы выявления ритмики заданной метеорологической величины, продолжительности теплых и холодных периодов, а также вероятности смены теплых месяцев на холодные и холодных на теплые.

Разработан программно-информационный и вычислительный комплекс зонирования территории на основе многомерной кластеризации данных полей параметров климата.

3. Выполнена верификация алгоритма выявления синхронизма и вынуждающего воздействия на основе сопоставления полученных результатов с известными закономерностями. Введены CS- и NS-составляющие процессов, отличающиеся совпадением и несовпадением существенных признаков. Показано, что эта декомпозиция оптимальна в смысле максимизации парных коэффициентов корреляции.

4. С использованием ранее разработанной математической модели динамики полей термокарстовых озер получены прогнозные оценки динамики средней площади термокарстовых озер севера Западной Сибири.

Полный отчет в соответствии с положением о конкурсе отправлен секретарю конкурсных комиссий Президиума СО РАН и в ОУС по наукам о Земле.

**Проект № 112 «Развитие методов дифракционной и конформной оптики
для контроля управления параметрами волновых фронтов
мощных лазерных систем**

За период 2013 г запланированная работа выполнена в полном объеме. Проведена оптимизация алгоритмов спектрального анализа для обработки интерферограмм в режиме реального времени. Разработаны алгоритмы восстановления вол-

нового фронта по измерениям датчиков типа Шака-Гартмана путем численного интегрирования. В составе единого программного комплекса анализа волновых фронтов «POINT 3.1» реализованы два программных модуля «POINT 3.1: Shack-Hartmann Wavefront LST Analysis» и «POINT 3.1: Shack-Hartmann Wavefront Integral Analysis». Основные алгоритмы реализованы в виде вызываемых расчетных функций в составе встраиваемого модуля pnt_math.dll, с возможностью его использования в программных платформах остальных участников проекта. Проведенные эксперименты показали, что разработанные алгоритмы способны обеспечить достаточно высокое качество восстановления формы волновых фронтов. Результаты исследований опубликованы в пяти (в том числе двух совместных) научных публикациях.

Дальнейшие работы ведутся в направлениях дальнейшего усовершенствования алгоритмов восстановления волновых фронтов на основе методов численного интегрирования и создания алгоритмов восстановления волновых фронтов для модифицированных схем измерений.

Полный отчет в соответствии с положением о конкурсе отправлен координатору проекта и в ОУС по наукам о Земле.

Проект № 131 «Математическое и геоинформационное моделирование в задачах мониторинга окружающей среды и поддержки принятия решений на основе данных стационарного, мобильного и дистанционного наблюдения»

Согласно поставленной в рамках выполнения проекта задаче, информационная модель интегрированной системы сервисов геоданных представлена в виде UML-диаграмм на примере типовых задач: поиска и выборки из архивов данных; математической и статистической обработки выборки; расчета характеристических параметров, и т.д. Сервисы базируются на веб-сервисах OGC, и, в частности, сервисы геопространственной обработки основываются на спецификации Web Processing Service – WPS.

В соответствии с разработанной информационной моделью, была разработана общая архитектура сопряженной с ГИС системы сервисов геоданных, для последующего доступа к метеорологическим и климатическим данным и их интерактивного анализа. Следует отметить, что использование набора веб-сервисов OGC (WMS/WFS/WCS) позволяет разрабатывать «тонкие» ГИС-клиенты (в том числе веб-клиенты), в задачу которых входит только взаимодействие с пользователем и представление результатов выполнения его задач как в графическом, так и цифровом виде. Предлагаемая общая схема системы сервисов

геоданных является множеством географически распределенных вычислительных систем, каждая из которых представляет собой совокупность данных и низкоуровневых процедур их обработки, которая предоставляет соответствующие картографические сервисы обработки и визуализации, и состоит из трех основных компонент:

1. Эффективная в терминах поиска, доступа, выборки и последующей статистической обработки модель хранения больших наборов пространственных климатических данных

2. Модульное вычислительное ядро для статистической обработки пространственных данных, являющееся вычислительным бэкендом для сервисов геообработки.

3. Вычислительные и картографические веб-сервисы для работы с пространственными данными на основе OGC WMS, WFS, WCS, WPS, базирующиеся на ПО Geoserver (<http://geoserver.org>).

Полный отчет в соответствии с положением о конкурсе отправлен координатору проекта и в ОУС по наукам о Земле.

Проект № 140 «Структура и климатически обусловленная динамика разнообразия 5-хвойных сосен России»

Важнейший результат 2013 г.

Изучена разнообразие гена LEA у 8 евроазиатских видов 5-хвойных сосен, идентифицированы 4 варианта. Анализ полученных нуклеотидных последовательностей позволяет предположить, что исходным является полный (без делеций) вариант № 1. Он встречается у самых разнообразных видов: древнейших и молодых, бореальных и субтропических, европейских и азиатских. Три других варианта (с разными делециями) встречались без определенной географической закономерности. Так, вариант № 2, в основном, сибирский (*P. sibirica*), был найден у эндемичного японского вида *P. parviflora*. Наоборот, вариант № 3, главным образом, дальневосточный (*P. pumila*, *P. koraiensis*), обнаружен у *P. sibirica*, причем, в самой удаленной от Дальнего Востока части ареала этого вида, на Урале. *P. sibirica*, в отличие от двух других российских видов, представленных в работе многими экотипами и оказавшихся мономорфными, обнаружил большое разнообразие вариантов гена LEA (3 из 4), распределение которых по ареалу явно было случайным. Такую картину аллельного разнообразия, т.е. кажущуюся немонафилию видов, объясняют обычно либо неполным расхождением генеалогических линий (incomplete lineage sorting), существовавших у предковых форм, либо древней интрогрессией. Однако дефицит географических и других закономерностей в распределении аллелей, ко-

торый наблюдался в нашем исследовании, позволяет предположить также и третью гипотезу – гомологические ряды единообразных мутаций, возникающих *de novo* на различных ветвях филогенетического древа.

Блок 1. Филогенетическая дивергенция, адаптивная конвергенция и интеграционные процессы в группе близкородственных генетически совместимых видов (на примере 5-хвойных сосен Евразии)

1.1. *Реконструкция филогенетической дивергенции видов по результатам комплексного анализа признаков и генов.*

Методами газовой хромато-масс-спектрометрии и обращено-фазовой высокоэффективной жидкостной хроматографии впервые проведено сравнительное исследование состава терпеноидов и флавоноидов, соответственно, в хвое 10 видов 5-хвойных сосен Старого и Нового Света, выращенных на научном стационаре «Кедр» ИМКЭС СО РАН. Полученные результаты демонстрируют высокую информативность и перспективность примененного метода для анализа структуры разнообразия 5-хвойных сосен.

Блок 2. Структура внутривидового разнообразия в терминах нейтральной и адаптивной микроэволюции; динамика популяций в зонах раннего отклика на климатические изменения (на примере кедра сибирского)

2.1. *Нейтральная микроэволюция в связи с историей расселения вида в голоцене и современными популяционными процессами: сопряженный анализ «органикохимических», биохимических и молекулярных (ядерный и плазматические геномы) маркеров генетической изменчивости.*

Для исследования и сохранения генофонда лесообразующих видов древесных растений широко используют маркеры генетической изменчивости. Использование маркеров различной природы и сравнительный анализ информации позволяют сделать описание структуры генетической структуры вида наиболее полным. Проведен сравнительный анализ генетической структуры популяций кедра сибирского из Западной Сибири и Горного Алтая по локусам ядерной локализации, кодирующим ферменты (23 локуса), и содержащим короткие повторяющиеся последовательности ДНК в некодирующей части генома (10 локусов).

Проведена клональная амплификация и анализ полученных из выделенной ДНК хлоропластов *Pinus sibirica* библиотек случайных фрагментов на платформах Roche FLX (11204 прочтений) и Illumina MiSeq (704 прочтения). Также в 2013 г. проведен сравнительный анализ данных, полученных для библиотек с разной средней длиной фрагментов, на платформе Roche FLX, который выявил существенное влияние средней длины фрагментов на качество и общий объем получаемых дан-

ных. Результаты этого анализа были доложены на конференции International Conference “High-Throughput Sequencing in Genomics”, Новосибирск 2013 г.

2.3. Динамика популяций в зонах раннего отклика на климатические изменения.

По результатам ретроспективного анализа морфогенеза у кедра сибирского на верховых болотах и на верхней границе древесной растительности в горах установлены структура и динамика разнообразия жизненных форм в зависимости от распределения лимитирующих экологических факторов в пространстве и их изменения во времени. Показано, что решающую роль в выживании сосны кедровой сибирской на верховых участках болот играет ее способность к формированию многоярусной придаточной корневой системы.

Блок 3. Сохранение генофонда и его использование в селекционных программах.

3.1. Разработка базы данных «Структура и пространственно-временная организация внутривидового разнообразия лесных древесных растений» (на примере кедра сибирского).

В ходе работы по проекту в 2013 г. была сформирована база данных по бонитету кедра, которая была подключена в веб-ГИС систему «Климат» (<http://climate.scert.ru/>). С помощью веб-системы «Климат» для территории ареала кедра (диапазон по долготе 63–114° в.д., по широте 50–70° с.ш.) были рассчитаны поля климатических характеристик для базового (1960-1990 гг.) и современного (1990-2010 гг.) периодов: средняя температура; средний суточный ход температуры, определяющий континентальность климата; продолжительность вегетационного периода; сумма эффективных температур; среднее и суммарное количество осадков. Предварительный анализ показывает, что распределение бонитета коррелирует с продолжительностью вегетационного периода и средним количеством осадков. Как и следовало ожидать, изменения климатических характеристик не приводят к заметным изменениям степени этой корреляции.

3.2. Клоновая селекция кедра сибирского: принципы отбора исходного материала в природных популяциях, инвентаризация объектов ЕГСК, разработка программы выведения сортов-клонов и практическая реализация ее первого этапа.

Исследования проводились в клоновых архивах плюсовых деревьев кедра сибирского (Присалаирье, Искитимский район). Выявлена высокая зависимость от метеорологических условий успешности формирования основных элементов структуры семенной продуктивности. Колебание величины урожаев семян в разные годы в основном определяется уровнем заложения шишек, который обуслов-

лен характером гидротермического режима в мае-июле. Отмечена значительная межклоновая изменчивость элементов семенной продуктивности.

Контролируемое опыление показало, что кедр сибирский скрещивается не со всеми видами из подрода *Strobus*. Полная репродуктивная изоляция установлена для *P. parviflora*, *P. schwerinii*, *P. peuce*, *P. strobus*, *P. monticola* – с этими видами все полученные развитые семена были пустыми. Эмбриологический анализ таких семян показал, что развитие семени шло нормально до процесса оплодотворения.

3.3. Соматические мутации и селекция сортов на их основе.

На основе сравнительного анализа морфологического разнообразия в системе «исходный генотип (нормальная крона, НК) – его соматическая мутация (ведьмина метла, ВМ) - семенное потомство этой соматической мутации (СП)» получены новые представления о детерминации морфогенеза древесных растений как функции трех основных генетических факторов: собственно мутации, рекомбинаций и циклофизиса.

Обнаруженные закономерности – большое разнообразие исходных ВМ, появление новых свойств при омоложении генетического материала, большое разнообразие семенного потомства ВМ – открывают широкие возможности для селекции скороплодных и декоративных культиваров кедра сибирского. Мегагаметофиты нескольких ВМ впервые введены в культуру *in vitro*, получены активно пролиферирующие каллусы.

Полный отчет в соответствии с положением о конкурсе отправлен секретарю конкурсных комиссий Президиума СО РАН и в ОУС по наукам о Земле.

[Проект № 144 «Криогенные ресурсы Арктики и Субарктики: состояние и структура криолитозоны, физико-химическое моделирование и биологический потенциал криогенных систем»](#)

Была проведена работа по спорово-пыльцевому анализу дополнительных 23-х образцов торфа из мёрзлого плоско бугристого торфяника, расположенного в пойме р. Хеги-Яха у уступа 2-й надпойменной террасы р. Надым (65° 18'56'' с.ш., 72° 52'27'' в.д.). Это позволило детализировать часть обобщенной спорово-пыльцевой диаграммы построенной в 2012 отчетном году. Детализирована была пыльцевая диаграмма верхней 2-х метровой толщи торфа возрастом 4560 лет. В результате межобразцовый интервал ретроспективной серии образцов охватывающей период от 4500 лет до 3450 лет назад составил приблизительно 42 года. Значительное снижение скорости торфонакопления с 3450 лет назад до современности (с глубины 80 см до поверхности) в среднем дало временное разрешение около 280 лет между соседними образцами.

Кроме палинологического анализа был проведён анализ степени гумификации торфа с помощью количественной методики разработанной европейскими исследователями в ходе работы по программе ACCROTELM (Chambers et al., 2011).

Детализация спорово-пыльцевой диаграммы охватывающей последние 4560 лет показала выраженную цикличность изменения увлажнённости климата и его температурных характеристик на севере Западной Сибири. Выявленная цикличность довольно хорошо коррелирует с данными из других, даже весьма удалённых регионов Земли. Это может указывать на глобальную взаимосвязь палеогеографических явлений, обусловленную какими-то общими, экзогенными факторами. Выявлено, что увеличение степени гумификации торфа по нашим данным имеет явную связь с более сухими периодами, когда в северных ландшафтах сокращалась роль ели и увеличивалась роль берёзы. Эта закономерность, однако, нуждается в более тщательном изучении при детализации спорово-пыльцевой диаграммы более древнего средне голоценового времени, которая будет проводиться в 2014 г.

Полный отчет в соответствии с положением о конкурсе отправлен координатору проекта и в ОУС по наукам о Земле.

***РАБОТА, ВЫПОЛНЕННАЯ ПО СОВМЕСТНОЙ ПРОГРАММЕ
ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ НАН БЕЛОРУСИ И СО РАН
Проект № 34 «Химия органических соединений торфа в связи с
процессами формирования, развития, нарушения и восстановления
болотных экосистем***

В 2013 году ИМКЭС СО РАН был проведен выбор объектов исследования, экспедиционные работы по отбору образцов торфа различного вида и типа и аналитические исследования проб на ботанический состав и общетехнические свойства торфа.

В качестве объектов исследования были выбраны 4 ключевых осушенных участках болота «Темное», расположенного на юге Томской области. При выборе объектов исследования преследовалась цель подбора аналогов для видов торфов олиготрофных и евтрофных участков болот, находящихся в естественном состоянии, изученных на предшествующем этапе выполнения работ: верховых - фускум, магелланикум и пушицевого, евтрофных – древесно-травяного, древесного, осокового и гипнового.

На 3-х ключевых низинных участках и 1-м – верховом участке осушенного болота Темное было проведено описание растительного покрова, определены уровни залегания болотных вод.

Полный отчет в соответствии с положением о конкурсе отправлен координатору проекта и в ОУС по наукам о Земле.

1.2.4. РАБОТА, ВЫПОЛНЕННАЯ ПО ГРАНТАМ РФФИ.

Проект № 13-05-00111/а «Позднечервертичная эволюция озерных систем Алтайской горной страны» (руководитель – к.г.н. П.С.Бородавко)

Исследования первого этапа, проводимые в рамках проекта, были направлены на изучение пространственно-временных закономерностей эволюции озерных систем Юго-восточного Алтая. За отчетный период проведены запланированные полевые исследования современных и древних озерных комплексов хребта Чихачева, Южно-Чуйского, Курайской и Чуйской межгорных впадин. Выполнены теоретические обобщения имеющихся материалов и новые разработки в области палеогеографии Горного Алтая в областях распространения последнего оледенения. В рамках созданной ГИС "Этапы лимногенеза Горного Алтая" реализованы геоинформационные проекты "Озера Аккола", "Озера Юстыда". Составлена коннекция гистограмм озерно-ледниковых отложений Чуйско-Курайского палеоозера, охватывающая 4-х тысячелетнюю историю его существования.

По ряду литологических признаков в пределах Чаган-Узунской озерно-ледниковой толщи установлено наличие шести типов лент, мощность которых варьирует от 1 до 15 мм, в зависимости от гранулометрического состава компонентов, слагающих ленту. Кроме того, в отдельный тип мы выделили, так называемые, дренажные ленты (до 100-150 мм), сложенные преимущественно мелко- и среднезернистым слоеватым песком.

В камеральных условиях, результаты замеров годичных лент заносились в электронные таблицы Microsoft Excel 97, отображались в виде диаграмм или гистограмм, на которых по вертикали через равные промежутки отмечались номера лент, а по горизонтали – их суммарная мощность (летний слой +зимний) в масштабе, позволяющем подчеркнуть её изменение.

Далее проводилось сопоставление (коннекция) диаграмм, построенных для разрезов из разных участков долины. Метод коннексий диаграмм был предложен Ж. де Геером и доработан, применительно к флишевым толщам Н. Б. Вассоевичем. Поэтапное совмещение диаграмм изменения мощности варв разрозненных разрезов позволило нам связать последние в непрерывный ряд. Статистический анализ данных варвометрических исследований позволяет сделать заключение о том, что более молодая толща разреза Чаган-Узун сложена, в основном, лентами мощностью от 2 до 7 мм. Даже беглого взгляда на кривую изменения мощности варв дос-

таточно для того, чтобы сделать заключение о весьма динамичной обстановке седиментации и наличии циклов осадконакопления различных рангов (внутри- и многовековых). Приуроченность лент с повышенным показателем мощности к подошве и кровле разреза, а также к кульминациям циклов, свидетельствует о постепенном заполнении придельтового коллектора продуктами твердого ледникового стока на фоне ритмичных изменений уровня водоема. Кроме того, о динамике уровня режима можно судить по наличию рифелей и дренажных лент в основании разреза, его кровле и узловых точках циклов седиментации.

Задачи исследований первого этапа решались классическими методами полевой геоморфологии, гидрографии и геоинформационного картографирования. ***Реконструированные схемы стадийного сокращения ледников последнего оледенения Горного Алтая позволили отождествить хронологические этапы формирования конечно-моренных комплексов с этапами формирования морено-подпрудных и моренных озер.***

Проект № 12-02-31154/мол_а "Исследование канала распространения звуковых волн в пределах прямой видимости" (руководитель к.т.н. Д.С.Раков)

В ходе выполнения проекта по исследованию канала распространения звуковых волн в пределах прямой видимости были получены следующие результаты:

1. Составлена модель расчета уровня звукового давления на расстоянии от мощного излучателя, которая включает в себя расчет характеристик направленности излучателя, ослабление, вызванное влиянием подстилающей поверхности, сферическую расходимость звуковых волн. Общая формула для расчета уровней звукового давления выглядит следующим образом: $R_{res}(f,r)=S(f)-L_{доп}(f,r)+D(O,f)$, [дБ], где $R_{res}(f,r)$ – уровень звука в точке приема в дБ, $S(f)$ – уровень звука (амплитудно-частотная характеристика) источника (АЧХ), приведенный к 1 м, в дБ, $L_{доп}(f,r)$ – дополнительное ослабление звука в дБ, f – частота звуковых колебаний, $D(O,f)$ параметр, учитывающий характеристику направленности источника или (и) приемника звука, в дБ.

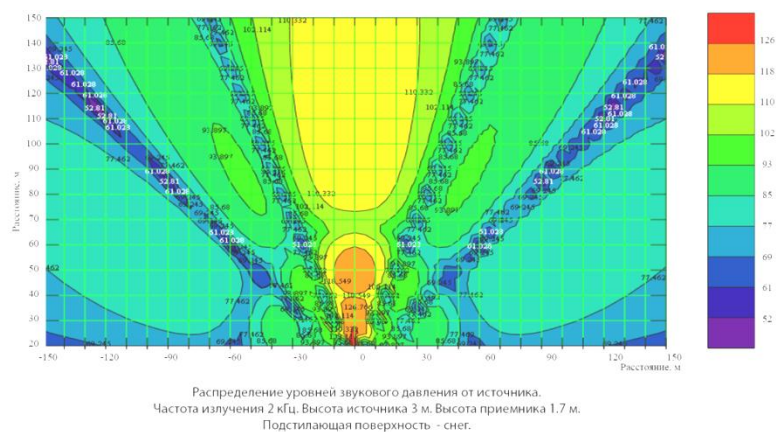


Рис. 1 . Распределение уровней звукового давления на различных расстояниях от источника. Частота излучения звука 2 кГц. Подстилающая поверхность – снежный покров.

2. Влияние рельефа земли сильно влияет на прогноз уровня звукового давления в удаленной точке от источника. В качестве примера на рисунке 2 показано сравнение теоретического расчета с экспериментальными данными, без учета влияния рельефа земной поверхности и с его учетом. Основываясь на данных результатах, можно сказать, что использование ГИС-технологий (гео информационных систем) в средствах звуковой связи позволит на более высоком уровне производить расчет уровней звука на различных расстояниях от источника.

3.

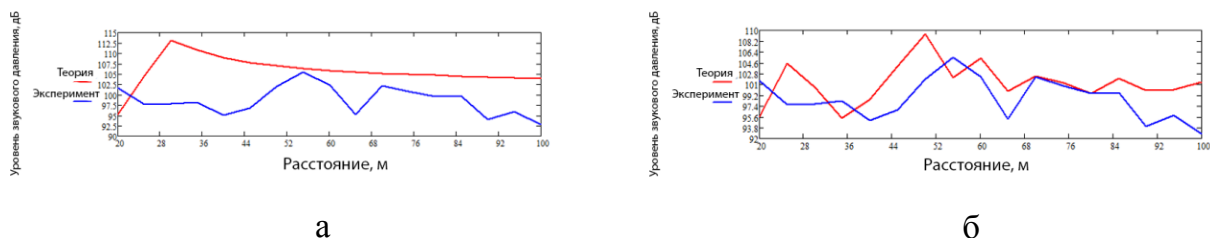


Рис. 2. Сравнение теоретических и экспериментальных данных: а) без учета поправки на рельеф местности, б) с учетом поправки на рельеф местности.
Частота излучения 2 кГц. Высота источника 6 м, высота приемника 0.9 м.

4. Проведено сравнение обработанных экспериментальных данных, полученных на 1 этапе выполнения проекта, с моделью расчета на основе метода Монте-Карло, в которой рассчитываются интенсивности принятого звукового сигнала для коротких приземных трасс длиной 90, 180, 210, и 270 м с учетом вклада многократного рассеяния. Данная модель разработана сотрудниками Института оптики атмосферы им. В.Е. Зуева.

Полученные статистические оценки по методу Монте-Карло однократно рассеянного излучения сравнивались с экспериментальными и теоретическими данными, полученные на 1 этапе работы, рассчитанными по модели Делани–Бэзли. Результаты сравнения для частоты 1 кГц представлены на рис. 3. Из рисунка

видно, что для $L = 90$ м, интенсивность принятого сигнала как в том, так и в другом случае максимальна для приемника, расположенного на подстилающей поверхности. При этом для такого положения приемника, наблюдается достаточно хорошее количественное согласие результатов для трасс распространения длиной 180, 210, и 270 м и их существенное отличие для трассы длиной 90 м. При $z_{пр} = 1$ м и 1,5 м, наблюдается хорошее согласие полученных результатов.

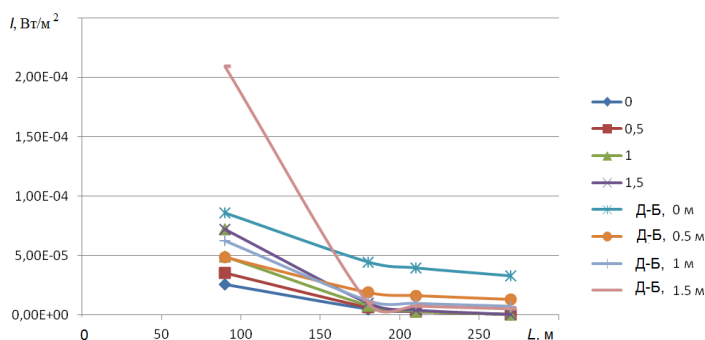


Рис. 3. Сравнение статистических оценок интенсивности однократно рассеянного акустического излучения с результатами расчетов по модели Делани–Бэзли для частоты 1 кГц и указанных высот расположения приемника

Проект № 12-04-01154/а «Почвы замкнутых понижений северной лесостепи и юга таежной зоны Западной Сибири: экология, генезис, классификация» (руководитель д.г.н. А.Г.Дюкарев)

Основная цель проекта - выявление закономерностей сопряжения элювиальных почв с зональными почвами, сходства и различия элювиальных почв, формирующихся в западинах с разным гидрологическим режимом. В рамках данной проблемы продолжены исследования почв западин, гидрологических условий их формирования, различий состава и химических свойств.

Для всех небольших воронкообразных и блюдцеобразных западин характерны черемуховые мертвопокровные растительные сообщества, для средних с плоским дном и ступенчатыми бортами - березовые осоковые, для средних и крупных колков с плоским оформленным дном и постоянным переувлажнением - ивовые осоково-сабельниковые, занятые осиново-березовыми разнотравными или разнотравно-папоротниковыми лесами (рис.).

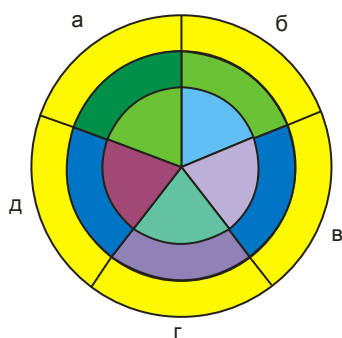


Рис. Спектры растительных сообществ разных типов колков: а – черемуховый мертвопокровный; б – березовый осоковый; в – ивовый осоково-сабельниковый; г – березовый осоково-сфагновый; д – рослямовый.

1 - осиново-березовые леса разнотравные и папоротниково-разнотравные. Черемуховые заросли: 2 - крупнопоротниковые; 3 - мертвопокровные. Березняки: 4 - осоковые; 5 - хвощовые или вейниковые; 8 - осоково-сфагновые. Ивняки: 6 - осоково-сабельниковые; 7 - мертвопокровные. Сосняки: 9 - кустарничково-сфагновые (рослые рямы).

Переходы внутри каждой группы постепенные, а свойства варьируют в соответствии с условиями местоположения соединения железа являются показателем стадийности трансформации почвенной матрицы элювоземов, поскольку его подвижные формы принимают активное участие в оглеении и конкрециеобразовании. В ряду от элювозёмов дерновых до типичных, на фоне обеднения несиликатными формами железа, снижается количество слабо- и сильноокристаллизованного, увеличивается количество оксалатнорастворимого железа. В составе последнего в равных соотношениях представлены железо, связанное с органическим веществом и аморфное.

Ведущим процессом формирования сегрегационных элювоземов является трансформация соединений железа и марганца в зоне геохимических барьеров. Преобразование при поверхностном переменном увлажнении ведет к обезжелезнению мелкозема верхней части профиля, сегрегации железа в конкреции. Содержание ортштейнов в собственно элювоземах 1-4%, в глеевых - 3-19%. Широкое отношение Fe / Mn и преимущественная аккумуляция марганца в ортштейнах верхних горизонтов характеризуют продолжительный окислительный этап в формировании элювоземов типичных. Высокие значения коэффициента Швертмана 0.68-0.95 глеевых элювоземов и аккумуляция MnO₂ в ортштейнах глубоких горизонтов наряду с обеднением верхних характеризуют застойное поверхностное увлажнение и служат диагностическим показателем актуального оглеения.

Проект № 13-05-10032/к «Научный проект проведения экспедиционных исследований почв и углеродного баланса переувлажненных земель на юге таежной зоны Западной Сибири» (руководитель д.г.н. А.Г.Дюкарев)

На юге таежной и севере лесостепной зоны проведены комплексные биогеоценологические исследования 38 замкнутых понижений, в процессе которых выявлены основные закономерности их строения, формирования и развития западинного

комплекса почв. Проведена типизация западных комплексов по растительному и почвенному покрову. В качестве основных типов выделены небольшие по размеру воронкообразные понижения в дренированной части междуречий с формирующимися в центре под мертвопокровными черемуховыми зарослями элювоземами типичными. Следующий тип западин выделяется на некотором расстоянии от дренирующей ландшафт системы (реки или лога) и отличается большими размерами и выраженным в центральной части небольшим по размеру плоским днищем с кустарничково-осоковым типом фитоценоза и элювоземами глеевыми или перегнойно-глеевыми. С увеличением размера западины и ухудшении условий в центральной части западины формируются разного типа болотные фитоценозы торфяно-перегнойными или торфяными почвами. В каждом колке проведены гидрологические, почвенные и фитоценотические исследования, заложен ландшафтно-геоморфологический профиль. Полученные в полевых условиях материалы обрабатываются, а образцы почв анализируются.

Для изучения температурного режима почв заложены 11 пространственно распределенных точек круглогодичного наблюдения за температурой почв на глубину 3.2м. Интервалы наблюдения 1 час, глубины стандартные для ГМС. Исследования температурного режима проводится с использованием Автономного Измерителя Почвенной Температуры (АИПТ), разработанного и изготовленного в ИМКЭС СО РАН. Для расширения сети наблюдения в следующем году из средств проекта, заказано изготовление еще 6 АИПТов.

Также с использованных автономных измерителей проводится изучения стока с заболоченных и переувлажненных территорий. Полученные данные обрабатываются.

Проект № 13-05-00762/а «Междисциплинарные исследования динамики верхней границы леса на Алтае при изменениях климата»

(руководитель д.б.н. Е.Е. Тимошок)

В криосемигумидных условиях Северо-Чуйского хребта на основе многолетних исследований в сопряженных системах: высокогорные авангардные сомкнутые леса – ландшафтные экотоны «лес-тундра» – «лес-молодые постгляциальные поверхности» на высотах 2100-2475 м над уровнем моря выявлена динамика радиального прироста деревьев кедра сибирского и лиственницы сибирской и на основе дендроклиматических реконструкций климата установлены периоды его похолоданий и потеплений в последние 500 лет, для XX-начала XXI вв. подтвержденные данными инструментальных наблюдений. На основе анализа возрастной структуры древесного яруса авангардных коренных лесов выявлено изменение их

возрастного состава в циклах вековых колебаний климата. На основе изучения возрастного состава групп деревьев в ландшафтных экотонах, динамики семеношения кедра и лиственницы и возобновления этих важнейших видов-лесообразователей в условиях высокогорий выявлены изменения этих показателей в ходе внутривековых колебаний климата и в современный период потепления. Для высокогорных местообитаний этих видов установлен значительный диапазон экологической толерантности, составляющий по фактору увлажнения 8 ступеней, по фактору активного богатства почв – 3 ступени, позволяющий сделать заключение о том, что по этим факторам кедр сибирский и лиственница сибирская находятся в зоне оптимальных условий.

Проект № 13-04-01649/а «Генетическая изменчивость кедров сибирского (Pinus sibirica Du Tour): структура и взаимосвязь нейтрального и адаптивного компонентов» (руководитель к.б.н. Е.А.Петрова)

За отчетный период выполнения работ по проекту проведен анализ последовательности ядерной ДНК кедров сибирского с использованием методов массового параллельного секвенирования ДНК на платформе Illumina MiSeq, созданы праймеры для микросателлитных локусов – высокоэффективных маркеров внутривидовой изменчивости. Впервые установлены достоверные корреляции частот аллелей ряда аллозимных локусов с географическими координатами места происхождения экотипа, развернуто обсуждается связь аллозимной изменчивости и климатических характеристик районов произрастания кедров сибирского. Выявленные закономерности структуры генетического разнообразия и значительная степень генетической подразделенности экотипов кедров сибирского могут быть связаны как со значением аллозимного полиморфизма для адаптации к широкому спектру лесорастительных условий, так и с историей расселения вида. Наибольшая генетическая дифференциация наблюдается между популяциями, представляющими северо-западную и юго-восточную части ареала, а равнинные популяции Западной Сибири близки к реликтовым кедровникам Алтае-Саянской горной страны. Анализ адаптивных морфологических признаков показал, что сильнее всего дифференцированы северные и южные популяции, районы происхождения которых максимально различаются по теплообеспеченности вегетационного периода. Исследованы структурные и функциональные показатели хвои кедров сибирского разного происхождения в географических культурах. У северных и высокогорных экотипов устьичная плотность, толщина эпидермы, длина хвои, размер клеток мезофилла, содержание фотосинтетических пигментов и интенсивность фотосинтеза находятся под генетическим контролем. Число клеток мезофилла и размер смоляных ходов имели моди-

фикационную природу разнообразия. У западного и восточного экотипов только площадь мезофилла и клетки мезофилла были наследственно обусловленными признаками. На территории Витимского заповедника проведен сбор материала для генетических исследований, в том числе культивации *ex situ*.

Проект № 11-05-00227/а «Исследование отклика углеродного баланса болотных экосистем разного размера на изменение климата и антропогенное воздействие» (руководитель к.б.н. Е.А.Головацкая)

Исследования проводились на болотном стационаре «Васюганье» ИМКЭС СО РАН на олиготрофном болоте «Бакчарское». Для оценки антропогенного влияния на углеродный баланс выбраны олиготрофные болотные экосистемы «Кирсановское» и «Тимирязевское», расположенные на территории Обь-Томского междуречья и находящиеся в зоне влияния Томского водозабора. По результатам экспедиционных измерений 2011-2013 гг. выполнена оценка основных элементов углеродного баланса: эмиссии CO_2 и CH_4 торфяной почвой, NPP, скорости разложения растительных остатков и их зависимость от климато-экологических факторов. Определены запасы углерода в торфяной залежи исследуемых болотных экосистем и скорость депонирования углерода. Проведено картирование ключевых участков. Выполнена оценка влияния техногенного воздействия Томского водозабора и лесомелиорации на углеродный баланс и современное развитие болотных экосистем. Выполнена калибровка разработанной ранее модели круговорота углерода для безлесной болотной экосистемы.

Суммарный поток CO_2 за вегетационный период с поверхности исследуемых болот на «Бакчарском» болоте почти в 2 раза выше по сравнению с болотами КУ «Тимирязевский», испытывающими воздействие Томского водозабора. Сравнение NPP на исследуемых болотах показало, что продукция на болотах Обь-Томского междуречья выше в 2 раза по сравнению с «Бакчарским» болотом. Часть продукции переходит в опад и подвергается разложению. Из ежегодной продукции фитомассы трав и кустарничков в мортмассу переходит от 30 до 90 % в зависимости от фитоценоза.

Согласно полученным нами данным все исследуемые болотные экосистемы как в нативном состоянии, так и подверженные антропогенному влиянию являются стоком углерода. Оценка текущего депонирования углерода (NEP – net ecosystem production) по разнице между NPP и выходящими потоками (эмиссия CO_2 и CH_4 , вынос углерода с болотными водами) является одной из основных оценок текущего связывания углерода в экосистеме. В исследуемых болотных фитоценозах NEP изменяется от 67 до 186 гС/м²год. Максимальная величина NEP получена для низкого

ряма Бакчарского болота, минимальная - для ряма Кирсановского. Вклад чистой аккумуляции углерода в виде торфа в НЕР составляет на Бакчарском болоте 30–54 %, на Кирсановском – на топяном участке - 31%, в то время как на ряме Кирсановского болота накопление торфа в настоящее время не происходит.

В результате длительного воздействия Томского водозабора наиболее трансформированными оказались полугидроморфные и гидроморфные ландшафты в зоне воздействия первой очереди водозабора на поверхностях Тимирязевской ложбины стока. В настоящее время на территории отмечаются масштабные процессы обсыхания и ускоренной минерализации торфа.

Исследуемые болотные экосистемы КУ «Бакчарский», площадью 212 тыс. га, ежегодно поглощают 3×10^5 т углерода из атмосферы. Площадь болот на территории КУ "Тимирязевский» составляет 25,6 тыс. га, что почти в 8 раз меньше по сравнению с площадью болот КУ «Бакчарский», при этом они ежегодно депонируют почти в 4 раза больше углерода из атмосферы.

Площадь болот ключевых участков составляет 0,06% от площади болот мира, 0,15% от площади болот России и 0,26% от площади болот Западной Сибири. Согласно полученным оценкам поглощение углерода болотами КУ составляет 0,32; 0,62 и 4% от поглощения болотами мира, России и Западной Сибири соответственно. Таким образом, болотные экосистемы южно-таежной подзоны Западной Сибири в настоящее время являются постоянным стоком углерода и, кроме того, являясь устойчивыми природными образованиями, способствуют смягчению последствий изменения климата.

Проект № 11-05-01190/а «Мониторинг и моделирование динамики парниковых газов в региональной климатической системе Западной Сибири»(руководитель к.т.н. И.Г.Окладников)

В настоящее время среди парниковых газов земной атмосферы наибольшее внимание исследователей привлекают углекислый газ и метан (IPCC, 2007). Первый газ определяет бóльшую часть антропогенного вклада в современную величину парникового эффекта, а со вторым связывают ряд положительных обратных связей в климатической системе, которые могут сыграть заметную роль в изменениях климата в течение ближайших десятилетий. Ключевую неопределенность в моделировании будущей динамики этих газов в атмосфере представляют их потоки на подстилающей поверхности, причем потоки естественного происхождения формируются сложными обратными связями между атмосферой и наземными экосистемами. Эти связи имеют выраженную региональную специфику, которая на большей части территории России обусловлена наличием вечной мерзлоты.

Основным направлением проекта было развитие методов оценки интенсивности источников и стоков метана и углекислого газа на подстилающей поверхности в зоне вечной мерзлоты на основе данных спутниковых наблюдений, наземных наблюдений, регионального реанализа и атмосферного моделирования высокого разрешения в применении к Западной Сибири.

Выбор этого района определяется двумя обстоятельствами. Во-первых, он привлекает в последнее время особый интерес в связи с наблюдаемым здесь интенсивным разрушением вечной мерзлоты и действием связанных с ним механизмов дополнительного выделения метана в атмосферу (распространение переувлажненных территорий, термокарстовых процессов). Во-вторых, отсутствие выраженного рельефа на этой территории позволяет избежать необходимости рассмотрения таких сложных эффектов, как распределение влаги и растительности (высотной поясности) в горных районах, которые существенно влияют на круговорот углерода в деятельном слое.

Для решения поставленных задач была использована мезомасштабная атмосферная модель NH3D_MPI (НИВЦ МГУ), в которую включена конечно-разностная схема переноса-диффузии-реакции произвольной субстанции, в частности, метана и углекислого газа. Для метана была реализована параметризация стока за счет окисления гидроксил-радикалом в виде кинетики первого порядка. Был рассмотрен суточный ход вертикального профиля температуры и других характеристик в приземном и пограничном слое атмосферы, воспроизведенный мезомасштабной над участком территории Западной Сибири (55-60 с.ш., 55-70 в.д.). Для данной задачи были подготовлены метеополя для территории Западной Сибири (2500 на 2000 км.), полученные с использованием подхода «даунскейлинг», в основе которого лежит использование физически обоснованной прогностической модели WRF и системы усвоения данных стационарных измерений. С помощью региональной численной атмосферной модели были рассчитаны мезомасштабные потоки тепла и метана над гидрологически неоднородной поверхностью Западной Сибири для летних условий. Был проведен ряд экспериментов, в которых варьировались разрешение модели, а также характеристики крупномасштабного потока. Боковые граничные условия и формулировка буферного слоя были модифицированы для обеспечения численной устойчивости конечно-разностной схемы. Профили основных метеорологических величин были заимствованы из Аэроклиматического атласа СССР.

Оказалось, что амплитуда мезомасштабных потоков над реальной поверхностью Западной Сибири как минимум на порядок меньше значений турбулентных потоков, что не было предсказано параметризациями мезомасштабных потоков,

предложенными в литературе. Это является аргументом в пользу включения характеристик топологии неоднородности поверхности в эти параметризации.

Была представлена новая математическая постановка задачи оценки потока метана с подстилающей поверхности. Предлагаемый метод заключается в расчете потока метана с поверхности из уравнения интегрального баланса метана в заданной ограниченной области атмосферы. В качестве исследуемого района была использована Западная Сибирь. В качестве входных данных по концентрации метана – данные глобального реанализа МАСС с горизонтальным разрешением 1,125x1,125 градуса. На основе этих данных были получены оценки потока метана с поверхности расчетной области за 6 лет с шагом в 6 часов. Сравнение полученных результатов с данными измерений показало согласованность, как для среднесуточных величин, так и для среднегодовых.

Также были проведены расчеты потоков метана с подстилающей поверхности Западной Сибири с использованием мезомасштабной модели ReMeDu (Research Mesoscale Dynamics), использующей программный код модели NH3D_MPI. В составе схемы деятельного слоя суши использованы модели генерации, переноса и стока метана в болотах и озерах, а также модели углеродного цикла. Проведен анализ чувствительности потоков энергии и парниковых газов в региональной модели к горизонтальному разрешению в примерном диапазоне от 5 км до 20 км. Кроме того, выполнены оценки спектра мощности распределения метана в атмосфере над Западной Сибирью.

Для обработки геопривязанных данных и обеспечения интероперабельности получаемых результатов анализа был разработан программный комплекс, включающий модули ядра для доступа, поиска и выборки пространственно-привязанных данных, менеджер задач, графический модуль визуализации результатов обработки, а также модуль записи результатов в файлы формата NetCDF. В состав программного комплекса вошли специальные модули вычислительного ядра для обработки и анализа данных реанализа МАСС в рамках процедуры расчета потока метана с подстилающей поверхности из уравнения интегрального баланса метана в заданной ограниченной области атмосферы.

Выполненная оценка эмиссии метана с поверхности торфяной залежи разных типов болотных экосистем Бакчарского ключевого участка показала, что суммарная эмиссия метана в атмосферу составляет 19486 т в год с площади 217623 га. Наибольший вклад в суммарный поток вносят топяные (61,6%) и высокий рям (19,1%), остальные экосистемы дают от 5 до 7% вклада в суммарный поток.

Проект № 13-04-00984/а «Динамика экосистем гор Южной Сибири в голоцене по данным комплексных биоиндикационных исследований субэзральных, озерно-болотных и ледниковых отложений»
(руководитель д.б.н. Т.А.Бляхарчук)

В 2013 г. участниками проекта проведены исследования по изучению информационного потенциала комплексов биоиндикаторов (спорово-пыльцевых спектров, комплексов диатомовых и золотистых водорослей) в леднике г. Белуха Алтай. Сопоставление полученных данных с синоптическими наблюдениями ближайших метеостанций и с разработанными для северного полушария схемами макроциркуляции атмосферы Б.Л. Дзердзеевского (1975) выявило связь максимумов обилия тех или иных биологических объектов с определенными типами атмосферной циркуляции. Использование методики HYSPLIT для построения обратных траекторий позволило выявить основные источники поступления изученных биологических объектов на высокогорный ледник г. Белуги (Алтай). Таким образом, наше исследование показало, что результаты послойного спорово-пыльцевого и альгологического анализов ледникового керна г. Белуха с высоким временным разрешением (до 1 года) могут быть использованы как индикаторы, отражающие изменения режима осадков в Алтайском регионе.

Второе направление исследований, развиваемое в проекте, касалось биоиндикационного исследования сапропелевых отложений оз. Манжерок расположенного в предгорьях западного Алтая ($51^{\circ} 49'14''$ с.ш., $85^{\circ} 48'35''$ в.д.). Участниками проекта были проведены геохимические исследования (определения содержания тяжелых металлов Fe, Mn, Co, Cd, Cu, Pb, Ni, Zn) и биоиндикационное изучение (спорово-пыльцевой и диатомовый анализы) ретроспективной серии образцов из 80 сантиметрового керна сапропеля озера Манжерок Алтайского края. Это позволило осуществить комплексную реконструкцию ландшафтно-геохимических событий в районе оз. Манжерок Алтайского края. Были реконструированы фазы развития растительности (на основе выделенных спорово-пыльцевых зон) в окрестностях оз. Манжерок и изменения локальных озёрных условий (по диатомовым комплексам и локальным компонентам спорово-пыльцевых спектров), а также геохимические процессы происходившие в водосборном бассейне озера, вызванные антропогенным и иными факторами. Так за время накопления 80 см толщи озёрных отложений произошла смена берёзовой лесостепи на берёзово-сосновую лесостепь с сельскохозяйственными угодьями. Локальные озёрные условия, при этом сменились от эфтрофного мелководного водоёма с доминированием бентосных диатомовых комплексов к более обводнённому водоёму с планктонными видами диатомей. Эти две стадии оказались разделены неким катастрофическим событием, вызвавшим

резкое сокращение обилия и видового разнообразия диатомовых комплексов. Оно совпало с максимальным обилием микроугольков в озёрных осадках. Увеличение содержания Fe, Mn, Co, Cd, Cu, Pb, Ni, Zn сразу после уголькового слоя указывает на последующий смыв этих элементов в озеро после массовых пожаров. На пожарную природу явления указывает и распространение в ландшафте сосны лесной именно после этого события. Если интенсификация пожаров могла иметь как климатогенную, так и антропогенную природу то увеличение обилия тяжелых металлов в самых верхних слоях озёрных отложений, вероятно, отражает начало индустриального влияния на территорию. Таким образом, сопряженный спорово-пыльцевой, диатомовый и геохимический анализы верхней толщи озёрных отложений позволил реконструировать изменения локальных условий оз. Манжерок и окружающих ландшафтов под действием климатических и антропогенных факторов в последние столетия.

Проект № 12-04-00801/а «Механизмы экспансии и роль инвазийных насекомых-дендрофагов в современных сукцессионных процессах в сибирской тайге» (руководитель к.б.н. С.А.Кривец)

На примере уссурийского полиграфа, дальневосточного короеда, проникшего в Южную Сибирь в результате непреднамеренного завоза, размножившегося здесь и вызывающего катастрофическое усыхание сибирских пихтовых лесов, изучены различные аспекты инвазионного процесса. Выявлено распространение этого агрессивного стволового вредителя в Красноярском и Алтайском крае, Кемеровской, Томской, Новосибирской области, в республиках Алтай и Хакасия, на территории 700x700 кв. км. Эти данные свидетельствуют о масштабной экспансии инвайдера – от северной границы произрастания пихтовых лесов на Западно-Сибирской равнине до верхней границы распространения пихты в горах Северо-Восточного Алтая (рис. 1, 2).

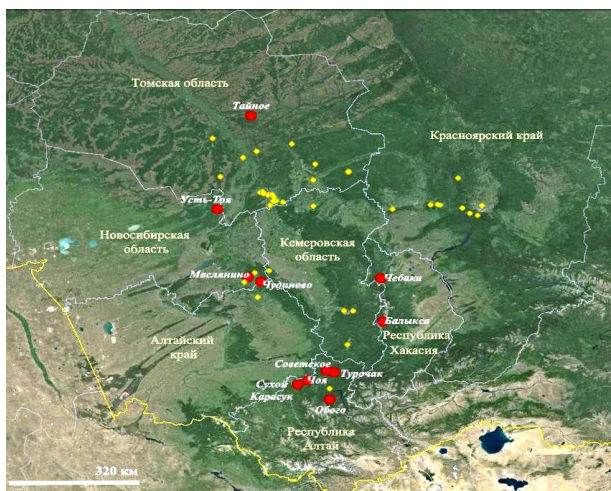


Рис. 1. Местонахождения уссурийского полиграфа в Сибири.

- - находки 2013 года;
- - находки 2008-2012 годов



Рис. 2. Деградированные пихтовые древостой в очагах размножения уссурийского полиграфа: А – Северо-Восточный Алтай, Б – Салаирский кряж, В – юг Томской области.

В очагах инвазии уссурийского полиграфа на Салаире и в Горном Алтае определены его популяционные характеристики и виталитетная структура поврежденных пихтовых древостоев. В обследованных салаирских пихтарниках численность жуков родительского поколения (короедный запас) варьировала от 4684 жуков до 8208 на дерево, плотность поселения семей от 1,5 на дм^2 (область низких значений для полиграфов) до 6,3 на дм^2 (область высоких значений). Состояние древостоев – неудовлетворительное (от сильного ослабления, с наличием действующего очага полиграфа, до полной деградации).

Следы развития полиграфа в разных насаждениях были обнаружены на 26-48% погибших деревьев. Установлено, что формирование первичных очагов на юге Новосибирской области произошло в результате расселения вредителя с территории сопредельной Кемеровской области в период массовых ветровалов 2005 г.

Впервые на примере Томской области с использованием ГИС-технологий проведено районирование территории региона-реципиента инвазии по опасности распространения уссурийского полиграфа и возникающим в связи с экспансией вредителя рискам для лесопользования.

***Проект № 13-05-98048/р_сибирь_а «Оценка современного ресурсного потенциала болот и скорости возобновления торфяных ресурсов Томской области по данным наземных и спутниковых наблюдений»
(руководитель к.ф.-м.н. Е.А.Дюкарев)***

На территории ключевого участка «Бакчар-Икса» (рис.) выполнены полевые ландшафтные исследования болотных экосистем. Более чем для 20 точек проведено: определение точных географических координат, формы мезорельефа и характеристик микрорельефа; измерение уровня болотных вод и типа увлажнения; ботаническое описание растительности; зондирование торфяной залежи и дана характеристика ее строения; определение характера антропогенного воздействия.

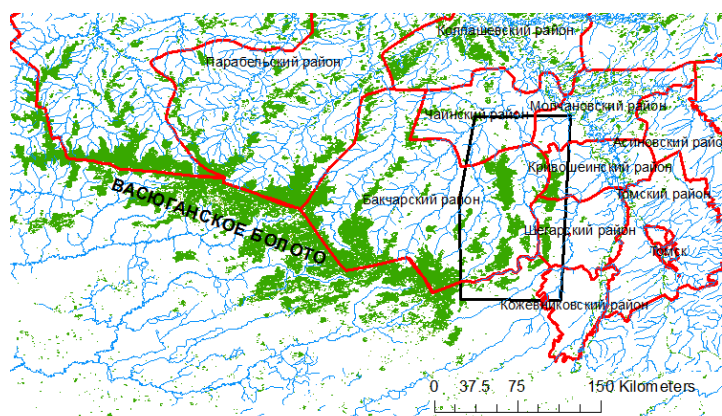


Рис. Расположение ключевого участка (КУ) «Икса-Бакчар». Зеленым цветом показаны заболоченные территории.

По результатам экспедиционных измерений оценена чистая первичная продукция растительности в олиготрофных болотных комплексах. Несмотря на существенные различия в составе растительного покрова, в среднем олиготрофные болотные экосистемы имеют близкие величины продукции травяно-кустарничково-мохового яруса, изменяясь от 542 г/м^2 в год на открытой топи до 659 г/м^2 в год на гряде грядово-мочажинного комплекса.

Исследования нетто-экосистемной продукции (средней скорости аккумуляции торфа) проводилось на 18 пробных площадках олиготрофных болотных ландшафтов. Нетто-экосистемная продукция значительно варьирует в олиготрофных рямовых сообществах от 72 до 267 г/м^2 в год, а в топьяных – от 98 до 198 г/м^2 в год.

По результатам лабораторного анализа проб торфа получены послойные данные по ботаническому составу, степени разложения, зольности и плотности монолитов торфа. В целом плотность торфов также как и зольность увеличивается с глубиной при увеличении степени разложения растительных остатков и их дисперсности.

Подобраны обучающие выборки и с использованием космических снимков Landsat составлена карта растительного покрова ключевого участка. Основную часть (44 %) территории занимают болотные массивы, в структуре которых в зависимости от их расположения меняется соотношение болотных микроландшафтов как открытого, так и облесенного типов. Открытые водные поверхности (0,3 % общей площади или 2 % площади болот) широко распространены в северной части Бакчарского болотного массива и центральной на Иксинском болоте. Из открытых болот на водоразделах наибольшие площади занимают грядово-среднемочажинные комплексы (26%) и осоково-сфагновые топи

(21%). Выявленный рисунок соотношения болотных микроландшафтов разной степени обводнения рямово-мочажинных (25 %), грядово-мочажинных (40 %), озерковых (2 %) и топяных (38 %) комплексов меняется в разных частях массивов в соответствии с особенностями их формирования.

*Проект № 13-05-98060/р_сибирь_а «Энергетический анализ природно-ресурсных возможностей региона (на примере Томской области)»
(руководитель д.г.н. А.В.Поздняков)*

В результате выполнения первого этапа исследования по проекту проведен комплексный анализ ландшафтных, климатических, гидрологических условий территории Томской области, определяющих формирование природно-ресурсной базы. Впервые для территории субъекта РФ Томская область выявлены, охарактеризованы и классифицированы природные, антропогенные, техногенные энергетические потоки, создающие ресурсный энергопотенциал области. Рассчитаны плотности ветровой, солнечной энергий, древесно-сырьевых ресурсов; дана оценка количества энергии, аккумулированной в гумусовом горизонте разных типов почв. Произведена предварительная оценка запасов энергии в отходах хозяйственной деятельности (техногенных метаболитах).

Новизна исследования состоит в том, что энергетический анализ, в совокупности с применением ГИС-технологий, позволяет определить пространственное распределение плотности энергопотоков по территории области и районировать ее по степени обеспеченности энергетическими ресурсами. С помощью программного продукта ARCGis 9.3 для данной территории составлены карты-схемы распределения рассчитанных значений компонентов энергетического потенциала на территории Томской области. Продолжено формирование информационно-аналитической основы для подготовки атрибутов базы данных тематической ГИС в среде ARCGis 10.1.

По результатам исследований по проекту в 2013 году были сделаны девять докладов на 4 конференциях, опубликована одна статья, разработан и запущен в работу сайт «Энергетический анализ природно-ресурсных возможностей региона» <http://geosystema.su/>

*Проект № 13-05-12034/офи_м «Исследование региональных климатических изменений и их проявлений в динамике окружающей среды на основе геоинформационных сервисов анализа, обработки и интеграции данных разных источников и тематического геопортала»
(руководитель д.ф.-м.н. Е.П.Гордов)*

Главной целью настоящего проекта является исследование современных и возможных в будущем климатических изменений, и их влияния на окружающую среду выбранного региона (Сибири, в данном случае) на основе новых подходов, объединяющих возможности современных геоинформационных технологий с уже зарекомендовавшими себя в этой области вычислительно-информационными технологиями.

В течение 2013 г. основное внимание уделялось количественному анализу изменений климатических характеристик Сибири и определению тех величин, вычисление которых следует включить в расширяемую функциональность созданной ранее веб-ГИС платформы «Климат». В частности, были разработаны адаптированные алгоритмы, реализующие статистические методы для расчета дополнительных климатических характеристик, характеризующих экстремальные климатические явления и выбраны модели, наилучшим образом воспроизводящие климатические процессы, характерные для исследуемой территории.

Параллельно была разработана архитектура тематического геопортала, реализующего весь потенциал созданной платформы в рамках методологии инфраструктуры пространственных данных и создавались геоинформационные сервисы анализа, обработки и интеграции данных разных источников. Кроме того, была разработана эффективная с точки зрения скорости поиска, доступа, выборки и последующей обработки модель хранения больших наборов пространственно-привязанных геофизических данных наблюдений и моделирования. На этой основе сформированы требования к программно-аппаратной платформе, на которой будет реализована новая версия веб-ГИС платформы.

Результаты работы вошли в одну монографию, были представлены в 11 докладах на международных и национальных конференциях, содержание которых опубликовано в трудах и сборниках тезисов. Направлена в печать одна статья.

Проект № 12-04-31051/мол_а Научный проект "Влияние сезонной ритмики основных климатических параметров на структуру сообществ болотных раковинных амёб"
(руководитель к.б.н. И.В.Курьина)

Проведено исследование сезонной динамики развития сообществ раковинных амёб на облесенном олиготрофном болоте в подзоне подтайги Западной Сибири на разных элементах микрорельефа: сфагновых кочках и межкочьях в течение вегетационной части годовых циклов 2010/2011, 2011/2012 гг. и влияния на их развитие основных параметров сезонных климатических ритмов: температуры и влажности среды. Комплексно-генетический подход позволил выделить особенности климатической структуры исследованных годовых циклов 2010/2011, 2011/2012, 2012/2013 гг. по данным метеостанции. По сравнению со среднемноголетними данными исследованные годовые циклы характеризуются продолжительной вегетационной частью и, соответственно, укороченной холодно-снежной, а друг от друга отличаются преимущественно по режиму увлажнения вегетационной части годового цикла. Влияние факторов температуры и влажности среды на почвообитающие организмы преломляется через гидротермический режим почвы. Показана необходимость измерения температуры почвы и глубины уровня болотных вод непосредственно на исследуемом болоте и невозможность пересчета этих параметров по данным ближайшей метеостанции на требуемом уровне точности. В то время как определение фаз климатической структуры года возможно по данным метеостанции, так как на станции и в болотном микроландшафте они наступают синхронно. Влияние фактора температуры болотной почвы на структуру сообщества раковинных амёб оказалось второстепенным по сравнению с фактором глубины уровня болотных вод. Гидротермический режим на разных элементах болотного микрорельефа различается. Кочки, в отличие от межкочьев, характеризуются более поздним оттаиванием весной, более ранним и большим прогревом в летний период, более ранним охлаждением осенью, а также меньшим уровнем обводненности и более стабильными условиями увлажненности верхнего слоя болотной почвы, населенного раковинными амёбами. Динамика сезонного развития сообществ раковинных амёб отличалась в сфагновых кочках и межкочьях. В целом, сообщества, населяющие межкочья, оказались более чувствительными к изменению погодных условий по целому ряду показателей структуры сообщества: численности живых активных клеток и цист, биомассе живых активных клеток, индексу видового разнообразия, выравненности. Установлено, что в августе в период наибольшего прогрева болотной почвы (конец центральной фазы лета – начало спада лета) в структуре сообществ раковинных амёб наблюдается оптимальное сочетание

сложной выравненной видовой структуры с высокой численностью активных живых клеток

Проект № 12-04-31340/мол_а_Научный проект "Возможность, характер и некоторые последствия генетического взаимодействия между видами с разной степенью родства (на примере 5-хвойных сосен)"
(руководитель к.б.н. Г.В.Васильева)

Одна из целей работы заключалась в исследовании совместимости различных видов 5-хвойных сосен методом контролируемого опыления. В качестве материнских деревьев были использованы российские виды 5-хвойных сосен: кедр сибирский (*Pinus sibirica*), кедр корейский (*P.koraiensis*), кедровый стланик (*P.pumila*), а также гибриды кедрового стланика и кедрового стланика. Сохранность шишек у видов после контролируемого опыления в первый год очень хорошая и в среднем потери от опадания ошмидов не превышали 7,0%.



Рис. 1. Внешний вид опыленных шишек.
Слева – кедр корейский,
справа – кедр сибирский.

Во второй год развития шишки они так же могли опадать. Так, у кедрового стланика опыленные шишки полностью опали во второй год развития. Анализ качества семян, полученных в результате контролируемых опылений, показал, что кедр корейский не образует полных семян, имеющих хорошо развитый зародыш, с *P. strobus*, *P. wallichiana*, *P.pumila*,

P.ayacahuita, *P.cembra*, *P.peuce*, также не было полноценных семян от опыления пыльцой гибридов *P.flexilis*×*parviflora*, *P.sibirica*×*P.pumila*. Больше всего полных семян было получено от возвратных скрещиваний кедрового стланика с гибридами *P.sibirica*×*koraiensis*. Среди межвидовых скрещиваний наиболее успешным было *P.koraiensis*×*P.armandii*, а в скрещиваниях с *P.parviflora* и *P.monticola* было получено всего по 1 полноценному семени.

Кедр сибирский в нашем опыте не формировал полных семян в скрещиваниях с пятью видами: *P.strobus*, *P.monticola*, *P.peuce*, *P.schwerinii*, *P.parviflora*. Лучшая генетическая совместимость (более 63% полных семян) кедрового стланика наблюдалась с кедром европейским. Довольно много полных семян получено от возвратных скрещиваний с гибридами на кедровый стланик и на кедр корейский. Интересно отметить, что от скрещивания с сосной гималайской (*P.wallichiana*) было получено несколько десятков полных семян. С 4 видами (*P.armandii*, *P.ayacahuita*,

P.parviflora × *pumila*, *P.pumila*) были получены единичные семена. Все успешные проведенные скрещивания показаны на рисунке 2.

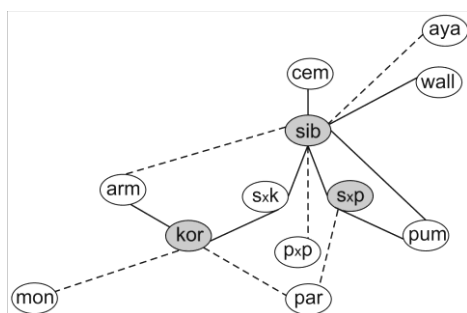


Рис. 2. Схема скрещиваний кедр сибирского (sib), кедр корейского (kor) и гибридов кедр сибирского и кедрового стланика (s×p) с разными видами сосен. cem – *P. cembra*, аya – *P. ayacahuite*, wall – *P. wallichiana*, pum – *P. pumila*, par – *P. parviflora*, p×p – гибриды *P. parviflora* и *P. pumila*, s×k – гибриды *P. sibirica* и *P. koraiensis*, mon – *P. monticola*, arm – *P. armandii*. Сплошной линией показаны наиболее успешные скрещивания. Штриховой линией показаны скрещивания, в результате которых получены единичные семена.

Другая часть работы заключалась в исследовании естественной гибридизации кедр сибирского и кедрового стланика. Было проведено исследование анатомического строения листьев, сменяющихся в онтогенезе кедр сибирского, кедрового стланика и их гибридов. Показано, что каждый из типов листьев имеет свои анатомические особенности, листья в онтогенезе изменяются не только по форме, но и по структуре. В строении семядольных листьев видовые признаки не наблюдались, они единообразны как у чистых видов, так и у гибридов. Видовые признаки начинают проявляться у ювенильных листьев. Только у взрослой хвои имелись все отличительные признаки свойственные виду.

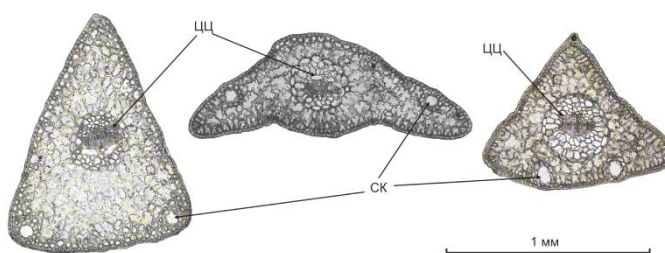


Рис. 3. Поперечные срезы разных листьев, сменяющиеся в онтогенезе, на примере кедрового стланика (слева направо: семядольные листья, ювенильные листья, хвоя). Примечание: ЦЦ – центральный цилиндр, СК – смоляные каналы.

Анатомические признаки хвои являются видоспецифическими, поэтому позволяют идентифицировать гибриды. Исследованное семенное потомство гибрида по структуре хвои было ближе к кедровому стланику, и, вероятно, представляло,

бэкроссы на этот вид. Морфология гибридов и родительских видов в семилетнем возрасте очень схожа. По высоте дерева гибриды не уступали видам и, скорее всего, в природе они будут вполне конкурентоспособны.

Проведенные экспедиционные работы показали, что гибридизация между кедром сибирским и кедровым стлаником проходит крайне неоднородно и с различной интенсивностью. В северной части области перекрывания данных видов (территория Витимского заповедника) гибриды немногочисленны, находятся под пологом леса. Плодоношение необильное, однако, семенная продуктивность довольно высокая и составляла 27,7%.

Генетическое взаимодействие между разными видами пятихвойных сосен возможно как в естественных условиях (гибридизация кедра сибирского и кедрового стланика), так и в условиях контролируемого опыления. В последнем случае можно получить гибриды между соснами географически очень отдаленными. Такие гибриды являются ценными исследовательскими объектами и богатым источником новых селекционных форм.

1.2.5. ОТЧЕТ О РЕЗУЛЬТАТАХ РАБОТЫ СИБИРСКОГО ЦЕНТРА КЛИМАТО-ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ОБРАЗОВАНИЯ (СЦ КЛИО)

В течение года выполнялась следующая работа: поддержка работы двуязычного сайта СЦ КЛИО (<http://scert.ru/>); поддержка работы двуязычной информационной системы по окружающей среде - веб сайта ENVIROMIS (<http://enviromis.scert.ru/>).

Выполнен проект РФФИ 13-05-06823-моб_г. В рамках этого проекта организована шестая Международная молодежная школа и конференция по вычислительно-информационным технологиям для наук об окружающей среде: CITES-2013, 25 августа – 5 сентября 2013 г., г. Петрозаводск. В рамках конференции проведено Рабочее совещание NEESPI/SIRS (3 – 5 сентября), организованное совместно с NEESPI.

Выполнен проект APN “Capacity building to study and address climate change induced extremes in Northern Asia” (Исследование экстремальных проявлений глобального изменения климата на территории Северной Евразии). В ходе выполнения проекта АПН проведено Рабочее совещание NEESPI/SIRS (3 – 5 сентября), г. Петрозаводск, организованное совместно с NEESPI. Запущен тематический образовательный портал.

В рамках проекта РФФИ 13-05-06823-моб_г организована Международная молодежная школа и конференция по вычислительно-информационным техноло-

гиям для наук об окружающей среде: CITES-2013. Прошедшее мероприятие состояло из двух частей: молодежной школы и конференции.

Работа школы проходила на базе Петрозаводского государственного университета «Урозеро» с 25 августа по 30 сентября 2013 г. Тематика школы была посвящена исследованию океана и климата. В начале работы школы ведущими специалистами в данной области (академик РАН В.П. Дымников, член-корр. РАН В.Н. Лыкосов, член-корр. НАН Украины Г.К. Коротаев, проф. В.В. Мазалов, д.ф.-м.н. В.Б. Залесный, д.ф.-м.н. Н.Г. Яковлев, д.ф.-м.н. Н.А. Дианский) были прочитаны семь вводных лекций общего характера. Затем были прочитаны шесть специальных лекций (член-корр. РАН Н.Н. Филатов, проф. Е.П. Гордов, д.ф.-м.н. Е.М. Володин, д.ф.-м.н. Д.В. Чаликов, д.ф.-м.н. М.А. Толстых, к.ф.-м.н. А.С. Грицун), которые сопровождались практическими занятиями в компьютерных классах ПетрГУ. Для проведения занятий, слушатели школы были разделены на группы по 3 человека. Каждая группа получила задание в рамках темы «Долгопериодная изменчивость в климатической системе».

По окончании работы молодежной школы состоялась конференция, в работе которой, помимо молодых ученых, приняли участие ведущие российские и зарубежные специалисты. Научная программа конференции включала 5 последовательных тематических секций, где были представлены новые результаты по: моделированию и анализу атмосферных процессов; моделированию и анализу состояния подстилающей поверхности и ее гидрологического режима; моделированию и анализу климата; данным и информационно-вычислительным системам для наук о Земле; математическим методам в экологии. В первый день работы конференции были представлены и обсуждены доклады участников школы по результатам выполнения практических заданий. В качестве образовательной компоненты мероприятия, на конференции были представлены лекции и приглашенные доклады ведущих специалистов из России и США, в которых была отражены результаты новых исследований в рамках наук об окружающей среде. Молодые ученые представили устные доклады и краткие устные сообщения по результатам своих исследований. Работали стендовые секции, где были представлены развернутые материалы кратких устных сообщений. Программа мероприятия размещена на сайте <http://www.scert.ru/ru/conference/cites2013/>, там же будут размещены презентации прочитанных на школе лекций и сделанных на конференции выступлений.

Мероприятие было организовано Сибирским центром климато-экологических исследований и образования (СЦ КЛИО) совместно с Институтом вычислительной математики (ИВМ) РАН, Институтом мониторинга климатических и экологических систем (ИМКЭС) СО РАН, Институтом прикладных матема-

тических исследований КарНЦ РАН, Институтом водных проблем Севера КарНЦ РАН, Карельским научным центром (КарНЦ) РАН, Петрозаводским государственным университетом и проходило с 25 августа по 05 сентября 2013 г. на базе Петргу «Урозеро» и в Карельском научном центре РАН в г. Петрозаводске. В работе мероприятия приняли участие 150 представителей 36 научных организаций, из них 73 – молодые ученые. Среди участников 12 представителей 11 зарубежных организаций (Украина -1, США – 9, Китай – 1, Япония – 1). Российские участники представляли 25 научных институтов: из Томска (2), Москвы (7), Новосибирска (3), Санкт-Петербурга (4), Петрозаводска (3), Ростова-на-Дону (2), по одному институту из Красноярска, Долгопрудного, Обнинска.

К началу мероприятия был выпущен сборник кратких текстов докладов, отобранных для публикации Программным комитетом.

В рамках проекта АПН “Capacity building to study and address climate change induced extremes in Northern Asia” проведено рабочее совещание, на котором были представлены результаты проектов, координируемых NEESPI (Northern Eurasia Earth Science Partnership Initiative) и SIRS (Siberia Integrated Regional Study) и посвященных изучению различных аспектов изменений регионального климата в Северной Евразии и их взаимосвязи с глобальными процессами. В частности, большое внимание было уделено теме «Океан и климат». Также проведено детальное обсуждение дальнейшего развития/трансформации NEESPI и новых инициатив, посвященных исследованиям окружающей среды Северной Евразии. Также в рамках этого проекта запущен тематический образовательный портал (http://project.enviromis.scert.ru/apn/apn_extremes), где размещены материалы исследований экстремальных проявлений глобального изменения климата на территории Северной Евразии, выполненных учеными из России, США, Китая, Монголии.

В 2013 г. продолжалась работа по включению Центра и/или ИМКЭС в новые международные проекты.

1.2.6. ЭКСПЕДИЦИОННАЯ РАБОТА

Экспедиционные исследования направлены на сбор материалов и проведение полевых наблюдений по темам фундаментальных исследований Института.

В 2013 году экспедиционная работа проводилась по 4 проектам:

1. «Мониторинг – 2013» (2 отряда). Экспедиционные работы проводились на стационаре «Васюганье» в районе БВБ в 200 км от г. Томска (Бакчарский район) в период май-сентябрь, на территории Обь-Томского междуречья в Томском районе Томской области. Проведены полевые измерения естественного импульсного элек-

ромагнитного поля Земли (ЕИЭМПЗ) в целях картирования активных разрывных нарушений земной коры в пределах площади Невского подземного хранилища газа (ПХГ).

2. Геоэкологическая экспедиция «Синергия – 2013» (1 отряд). В период с апреля по октябрь проведены геоморфологические и снегомерные полевые исследования на территории горно-ледникового бассейна Актру с целью оценки лавинной опасности. Исследованиями установлено, что ледниково-эрозионный рельеф горно-ледникового бассейна Актру является одним из основных факторов, способствующих широкому развитию лавин. Местные геоморфологические условия благоприятствуют массовой концентрации снега на высоких уровнях скалистых склонов и отрицательных форм рельефа. Высокий коэффициент расчленения территории способствует быстрому смещению значительных масс снега в виде многочисленных лавин.

3. «Экосистема – 2013» (3 отряда). Комплексный подход к исследованиям и сложность объектов изучения потребовал привлечения в экспедиционные отряды широкого круга специалистов: лесоводов, геоботаников, почвоведов, физиологов, генетиков, ресурсоведов, зоологов, географов, гидрологов. В зону экспедиционных исследований были включены Томская, Новосибирская, Кемеровская и Иркутская области, республики Алтай и Якутия. В высокогорьях Северо-Чуйского и Южно-Чуйского хребтов, на Становом нагорье, в подзонах подтайги, южной и средней тайги Западной Сибири были заложены новые полигоны и ключевые участки. Основные наблюдения проводились с мая по октябрь включительно. Экспедиционные исследования разнообразия, структуры, пространственной и временной изменчивости лесных экосистем в 2013 году проводились с использованием ранее заложенных ключевых участков, пробных площадей и ландшафтно-экологических профилей, а также вновь созданных новых научных объектов (65 постоянных и временных пробных площадей и экологических трансект).

4. «Стратификация – 2013» (1 отряд). Экспедиция «Стратификация – 2013» организована в рамках программы сотрудничества СО РАН и Алтайского государственного университета (АлГУ) по проекту фундаментальных исследований, проводимых в совместной лаборатории ИМКЭС СО РАН и АлГУ по мониторингу геосферно-биосферных процессов. Целью экспедиции являлось: а) получение информации о метеопараметрах атмосферы, солнечной радиации, уровнях озерных и грунтовых вод, температуре и кислотности вод на основе многоканального измерительного комплекса «АПИК»; б) изучение особенностей температурной стратификации пограничного слоя атмосферы в природных условиях юга Западной Сибири с использованием метеорологического температурного профилемера МТР-5РЕ и

универсальная метеостанция Vaisala WXT520; в) забор донных отложений, болотных торфяных кернов и исследование динамики прибрежных почв озера Красиловское. Районы работ отряда Алтайский край, районы озер «Красиловское» и «Колыванское», сроки работы отряда с 1 июня 2013 по 30 сентября 2013 г.

В отчетном году также продолжались исследования на стационарах: «Киреевск», «Васюганье», «Кедр», «Таежный».

Отчеты по экспедициям и стационарам в соответствии с требованиями представлены в ОУС по наукам о Земле и председателю комиссии СО РАН по стационарам ак. РАН А.Г.Дегерменджи.

II. НАУЧНО-ОРГАНИЗАЦИОННАЯ РАБОТА

2.1. ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ УЧЕНОГО СОВЕТА.

В отчетном году было проведено 12 заседаний Ученого совета. На заседаниях рассматривались следующие вопросы:

- утверждение организационной структуры Института
- выборы представителей Института на Общее собрание РАН, СО РАН и в состав ОУСа наук о Земле и биологического ОУСа
- выборы делегатов на Общее собрание ТНЦ СО РАН
- выдвижение кандидатуры на должность председателя СО РАН, председателя ОУСа наук о Земле СО РАН
- выдвижение кандидатуры на должность директора в связи с истечением срока полномочий
- выборы нового состава Ученого совета
- обсуждение и утверждение важнейших достижений по итогам уходящего года
- об охране труда
- отчеты по интеграционным проектам СО РАН
- обсуждение результатов работ молодых ученых, получивших финансирование по научным темам
- отчеты по научным проектам
- доклады молодых ученых
- отчеты и планы по экспедиционным работам
- рассмотрение основных заданий к плану НИР на 2014 год
- утверждение дополнений в план НИР
- обсуждение и утверждение решений Комиссии по предварительным результатам оценки ПРНД
- кадровые вопросы
- выдвижение кандидатуры на получение стипендии работникам организаций оборонно-промышленного комплекса
- о привлечении к научному руководству аспирантами кандидатов наук
- вручение почетных грамот
- обсуждение Открытого письма Президиума СО РАН по проекту ФЗ «О Российской академии наук, реорганизации государственных академий и внесение изменений в отдельные законодательные акты РФ»
- вручение удостоверений «Заслуженный ветеран СО РАН»
- различного рода информация.

Состав утвержденного Президиумом СО РАН (ПСО № 214 от 20.06 2013 г.) Ученого совета включает 21 человек, из них: 2 чл.-корр. РАН, 13 докторов наук и 6 кандидатов наук, председатель Совета молодых ученых – с правом совещательного голоса.

2.2. КАДРЫ

Общая численность штатных сотрудников, в том числе	275 чел.
- научных сотрудников	108 чел.
- чл.-корр. РАН	2 чел.
- докторов наук	14 чел.
- кандидатов наук	64 чел.
- научных сотрудников без степени	28 чел.
Молодых научных работников (до 33 лет)	27 чел.
Количество аспирантов очного и заочного обучения	16 чел.

Средний возраст докторов наук – 65 лет

Средний возраст кандидатов наук – 45 лет

Средний возраст научных сотрудников (без степени) – 30 лет

За отчетный период уволилось 2 кандидата наук (Стафеев П.Г., Булдаков М.А.- умер) и 2 научных сотрудника без степени (Сандуков Ц.Д., Трофимов А.Ю.).

Членство в различных советах и научных сообществах:

Кабанов М.В., член-корреспондент РАН, профессор:

- член Американского физического общества, зам. председателя Объединенного ученого совета наук о Земле СО РАН, член Сибирской секции Проблемного совета по экологии и чрезвычайным ситуациям, член научного совета РАН по комплексной проблеме «Распространение радиоволн», член диссертационного совета Д 212.267.04 при НИ ТГУ, член редколлегии журнала «Оптика атмосферы и океана», член редколлегии журнала «География и природные ресурсы», академик Метрологической Академии.

Зуев В.В., член-корреспондент РАН, профессор:

- член Объединенного ученого совета по наукам о Земле, член редколлегии журнала «Известия РАН. Серия "Физика атмосферы и океана"», член редакционного совета журнала «Вестник Сибирского федерального университета», член диссертационного совета Д003.007.01

Крутиков В.А., доктор физико-математических наук:

- член Общего собрания РАН, член Объединенного ученого совета по наукам о Земле, член Общего собрания СО РАН, член Научного совета СО РАН по проблемам озера Байкал, член Экспертного совета по агропромышленной политике и природопользованию Администрации Томской области

Тихомиров А.А., доктор технических наук, профессор:

- член Объединенного Ученого совета по физико-техническим наукам, член диссертационного совета Д 212.268.04 при ТУСУР; член диссертационного совета Д 003.029.01 при ИОА СО РАН; член Общего собрания СО РАН

Дюкарев А.Г., доктор географических наук

– член диссертационного совета Д.212.267.15 при НИ ТГУ, член Всероссийского Докучаевского общества почвоведов, член редколлегии журнала «Динамика окружающей среды и глобальные изменения климата»

Гордов Е.П., доктор физико-математических наук, профессор:

- член Европейской Академии наук, член Европейского геофизического союза, член Американского геофизического союза, член Научного Совета СО РАН по информационно-телекоммуникационным ресурсам СО РАН, член Бюро Научного Совета СО РАН по биоинформатике, заместитель Председателя Сибирского отделения Российского Национального Совета по Международной геосферно-биосферной программе, эксперт Европейской комиссии, эксперт РФФИ, эксперт Санкт-Петербургского госуниверситета

Нагорский П.М., доктор физико-математических наук, профессор:

- член диссертационного совета Д 212.267.08 при НИ ТГУ

Поздняков А.В., доктор географических наук, профессор:

- председатель Диссертационного совета Д 212.267.15 при НИ ТГУ, - член диссертационных советов Д 212.267.19 при НИ ТГУ, К 212.267.10 при НИ ТГУ, руководитель Всероссийского методологического семинара по проблемам устойчивого развития, академик Академии наук технологической кибернетики Украины, член-корреспондент Академии естествознания, действительный член Академии естественных наук, по отделению «Ноосферные знания и технологии», член Русского географического общества

Красненко Н.П., доктор физико-математических наук, профессор:

- член диссертационного совета Д 212.268.04 при ТУСУР, член Российского акустического общества, руководитель Томского регионального Отделения и член Европейской акустической ассоциации, эксперт при Президиуме РАН по направлению «Геофизика, океанология, физика атмосферы»

Тимошок Е.Е., доктор биологических наук:

- член диссертационного совета Д 212.267.10 при НИ ТГУ, член Русского ботанического общества

Гейко П.П., доктор физико-математических наук:

- член диссертационного совета Д 212.268.04 и Д212.268.01 при ТУСУРе, член ученого совета радиофизического факультета ТГУ, член Американского оптического общества, чл.-корр. РАН, эксперт по присуждению Губернаторской стипендии для ведущих ученых Томской области

Горошкевич С.Н., доктор биологических наук:

- член Объединенного ученого совета по биологическим наукам, член редколлегии журнала Journal of Forestry Research (China), член Русского ботанического общества

Андреев Ю.М., доктор физико-математических наук:

- член Оптического общества Америки, Visiting Professor Китайской академии наук, член редколлегии журнала Chinese Optics, эксперт в области обычных вооружений, товаров и технологий двойного назначения представительства РФ в международных организациях

Богусевич А.Я., к.ф.-м.н., и Раков Д.С., к.т.н. - члены Российского акустического общества

Пучкин А.В., к.г.н. – член редколлегии журнала «Вопросы туризмоведения», г. Саратов (журнал не включен в список ВАК)

Пологова Н.Н., к.б.н., Давыдов В.В., к.б.н., Читоркина О.Ю., к.б.н., Степанова Т.С., Печень-Песенко О.Э. – члены Всероссийского Докучаевского общества почвоведов.

Кривец С.А., к.б.н., Демидко Д.А., м.н.с. – члены Русского энтомологического общества.

Велисевич С.Н., к.б.н., Николаева С.А., к.б.н., Скороходов С.Н., Диркс М.Н., к.б.н., Зотикова А.П., к.б.н., Бендер О.Г., к.б.н., Петрова Е.А., к.б.н., Чернова Н.А., к.б.н., Васильева Г.В., Попов А.Г., Жук Е.А. – члены Русского ботанического общества.

Хон А.В., н.с., Волкова Е.С., м.н.с., Пучкин А.В., м.н.с. – члены Русского географического общества

АСПИРАНТУРА

На начало 2013 года численность аспирантов составляла 16 очников и 1 заочник.

Институт имеет Лицензию на право ведения образовательной деятельности (регистрационный номер 2643 от 22 марта 2012 года, бессрочная), в соответствии с которой аспирантами очного и заочного обучения диссертационные работы выполняются по 9 специальностям.

В течение 2013 года закончили теоретический курс очного обучения 4 аспиранта (Кабанов С.А., Керчев И.А., Петров Д.В., Суязов Н.С.). Досрочно защитил кандидатскую диссертацию Петров Д.В. Окончил аспирантуру с представлением диссертации на научном семинаре отделения экологических исследований Керчев И.А. Выбыло по собственному желанию 3 аспиранта очного обучения (Богушевич Е.А., Кравченко М.П., Сабиров В.В.), отчислены за невыполнение индивидуальных планов 2 аспиранта (заочного обучения Шумакова Д.М. и очного обучения Морозова В.В.).

Из окончивших очную аспирантуру четырех аспирантов, трудоустроен в ИМКЭС СО РАН на должность младшего научного сотрудника Керчев И.А.

По результатам вступительных экзаменов приемной комиссией приняты на первый курс очной аспирантуры 6 человек (Бугаева Д.А., Карташова Е.А., Лисаченко И.В., Новиков Д.В., Тартаковский Е.А., Трофимов Г.А.). Все вновь принятые аспиранты выпускники ВУЗов 2013 года: ТПУ -2 магистра (Лисаченко И.В., Тартаковский Е.А.); ТГУ – 1 магистр (Новиков Д.В.) и 2 специалиста (Бугаева Д.А., Карташова Е.А.); ТУСУР – 1 с дипломом специалиста (Трофимов Г.А.).

Во исполнение постановления Правительства РФ от 21.03.2011 г. № 184 «Об утверждении положения о государственной аккредитации образовательных учреждений и научных организаций» в течение 2012 -2013 учебного года подготовлены материалы по аккредитации трех специальностей – 01.04.05 Оптика (разработчики Тихомиров А.А., д.т.н., профессор, Гейко П.П., д.ф.-м.н., доцент); 03.02.01 Ботаника (разработчики Горошкевич С.Н., д.б.н., доцент, Зотикова А.П., к.б.н., доцент, Бендер О.Г., к.б.гн., Велисевич С.Н., к.б.н., Петрова Е.А., к.б.н., Жук Е.А., к.б.н., Чернова Н.А., к.б.н.); 03.02.08 Экология, биологические науки (разработчики Кривец С.А., к.б.н., доцент, Тимошок Е.Е., д.б.н., снс, Читоркина О.Ю., к.б.н., Бочаров А.Ю., к.б.н., Савчук Д.А., к.б.н., Чернова Н.А., Бляхарчук Т.А., д.б.н., Головацкая Е.А., к.б.н.).

В 2013 году в диссертационном совете ИОА СО РАН защитили кандидатские диссертации с присуждением степени кандидата технических наук Петров Д.В. (досрочно, выпуск 2013 года), с присуждением степени кандидата физико-

математических наук Харюткина Е.В. (выпуск 2010 года); в диссертационном совете ТУСУРа успешно защитил кандидатскую диссертацию Кобзев А.А. (выпуск 2012 года); в диссертационных совета ТГУ защитили кандидатские диссертации Керчев И.А. (выпуск 2013 года), Панченко Е.М. (выпуск 2007 года), Тимошок Е.Н. (соискатель). В Д 003.056.01 при Институте леса им. В.Н. Сукачева докторскую диссертацию «Потоки углерода в болотных экосистемах южной тайги Западной Сибири» защитила Головацкая Е.А. (выпуск 2001 года, защита кандидатской диссертации 2002 год).

В рамках X Сибирского совещания по климато-экологическому мониторингу (ИМКЭС СО РАН, 14-17 октября 2013 года) проводился конкурс докладов молодых ученых, среди победителей которого были аспиранты Савельева Е.С. (диплом 1 степени), Никонова Л.Г. (диплом 2 степени); доклад Петрова Д.В. «Диагностика газовых сред методом спектроскопии спонтанного комбинационного рассеяния» отмечен среди лучших. В ежегодном научном семинаре аспирантов и молодых ученых, проведенном 9 декабря 2013 г., приняли участие 4 аспиранта (Морару Е.И., Никонова Л.Г., Корф Е.Д., Керчев И.А.). Доклады на английском языке сделала аспирантка Корф Е.Д. (второе место), на русском - аспиранты Керчев И.А. (первое место), Никонова Л.Г. (второе место), Морару Е.И. (третье место).

2.3. ХАРАКТЕРИСТИКА МЕЖДУНАРОДНЫХ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИХ СВЯЗЕЙ

Сотрудники, выезжавшие в заграничные командировки в течение года

№ п/п	Ф.И.О.	Сроки выезда	Принимающая организация	Цель выезда
1.	Ланский Г.В., с.н.с. ЛГБВ	15.02.13- 30.03.13	Национальная физическая лаборатория, Теддингтон, Великобритания	Установление научных связей, проведение совместных экспериментов
2.	Андреев Ю.М., г.н.с. ЛГБВ	24.03.13- 29.03.13	Северо-западный технический институт, Ченду, КНР	Определение возможностей сотрудничества в области исследования нелинейных оптических кристаллов и разработки источников терагерцового излучения
		03.06.13- 11.06.13	Харбинский НИИ датчиков, КНР	Чтение лекции «Легированные кристаллы GaSe: физические свойства и применение», подготовленной по материалам открытой печати.
		17.08.13- 31.08.13	Национальная физическая лаборатория	Чтение лекции на тему «Легированные кристаллы GaSe:

			рия, Лондон, Великобритания	физические свойства и применение», подготовленной по материалам открытой печати. Подписание договора о сотрудничестве, выполнение исследований по базовому проекту VII.80.2.4
		12.11.13-24.12.13	Институт оптики, точной механики и физики Китайской академии наук, г. Чанчунь, КНР	Научная работа по исследованию физических свойств кристаллов GaSe легированных Er, генерация второй гармоники в кристаллах GaSe:Al и GaSe:Er
3.	Гордов Е.П., г.н.с., руководитель МИЦ КЭИ	06.04.13-21.04.13	Международный институт прикладного системного анализа (IIASA), Лаксенбург, Австрия	Участие в Генеральной ассамблее Европейского геофизического союза EGU-2013 (07.04.13 – 12.04.13), Работа в отделе Исследования и управления экосистемами IIASA
4.	Веретенникова Е.Э., м.н.с. ЛФКС	02.04.13-14.04.13	Оргкомитет конференции, Вена, Австрия	Участие в Генеральной ассамблее Европейского геофизического союза EGU-2013
5.	Гордова Ю.Е., вед. переводчик МИЦ КЭИ	06.04.13-14.04.13	Оргкомитет конференции, Вена, Австрия	Участие в Генеральной ассамблее Европейского геофизического союза EGU-2013
6.	Титов А.Г., м.н.с. МИЦ КЭИ	06.04.13-15.04.13	Оргкомитет конференции, Вена, Австрия	Участие в Генеральной ассамблее Европейского геофизического союза EGU-2013
7.	Шульгина Т.М., м.н.с. МИЦ КЭИ	02.06.13-11.06.13	Оргкомитет конференции, г. Колумбус, США	Участие в конференции «Пространственная статистика-2013»
		03.11.13-10.11.13	Оргкомитет конференции, Брюссель, Бельгия	Участие в международной конференции по региональному климату CORDEX 2013
8.	Бляхарчук Т.А., с.н.с. ЛМЛЭС	05.07.13-17.07.13	Оргкомитет ассамблеи, Давос, Швейцария	Участие в Атмосферно-криосферной ассамблее
9.	Поднебесных Н.В., н.с. ЛФКС	12.06.13-24.06.13	Болгарская Академия наук	Участие в 13 международной мультидисциплинарной конференции (13 th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM)
10.	Головацкая Е.А., с.н.с. ЛФКС	01.06.13-10.06.13	Институт атмосферной физики Китайской АН	Участие в работе 9-й международной конференции по двуокиси углерода («9 th

				International Carbon Dioxide Conference”)
		01.09.13-07.09.13	Университет Падуи, Италия	Участие в работе международной конференции «Болотные системы: экология, функционирование и контроль»
11.	Корольков В.А., зам. директора по НР	04.06.13-11.06.13	Харбинский НИИ датчиков, КНР	Чтение лекций на тему «Ультразвуковая автоматическая метеорологическая станция АМК-03», подготовленных по материалам, опубликованным в открытой печати
12.	Тихомиров А.А., зам. директора по НР	04.06.13-11.06.13	Харбинский НИИ датчиков, КНР	Чтение лекций на тему «Ультразвуковые анемометры/термометры (УЗАТ) для измерения скорости ветра и температуры воздуха и метеостанции на их основе», подготовленных по материалам, опубликованным в открытой печати
13.	Харюткина Е.В., м.н.с. ЛФКС	04.07.13-14.07.13	Оргкомитет конференции, Нью-Йорк, США	Участие в Гордоновской конференции по излучению и климату (Gordon Research Conference on Radiation and Climate)
14.	Верозубова Г.А., с.н.с. КТЛ	12.08.13-16.08.13	Оргкомитет конференции, Варшава, Польша	Участие в международной конференции по росту кристаллов и эпитаксии (ICCGE-17)
15.	Дюкарев Е.А., в.н.с. ЛФКС	25.08.13-28.08.13	Университет Хельсинки, Финляндия	Участие в 3-м симпозиуме по Пан-Евразийскому эксперименту
		19.10.13-04.11.13	Метео-Франс, Тулуза, Франция	Участие в 19-й конференции по экологическому моделированию для устойчивости экосистем в контексте глобальных изменений
16.	Шайдуко А.В., м.н.с. ЛГБВ	28.10.13-24.12.13	Институт оптики, точной механики и физики Китайской академии наук, г. Чанчунь, КНР	НИР по исследованию физических свойств кристаллов GaSe, легированных Er, генерация второй гармоники в кристаллах GaSe:Al и GaSe:Er

Темы, по которым велось сотрудничество и его результаты

№ п/п	Название темы	Название зарубежного научного центра, адрес	Координаторы работ	Даты начала и окончания работ	Проведенные в 2013 году мероприятия по теме и их результаты
1.	Генеральное соглашение о научном сотрудничестве между федеральным государственным бюджетным учреждением науки институтом мониторинга климатических и экологических систем сибирского отделения российской академии наук и NPL management limited	Национальная физическая лаборатория (NPL); Хэмптон роуд TW11 0LW Теддингтон, Мидлсекс, Великобритания	Крутиков В.А., директор ИМКЭС СО РАН; Эндрю Смит, руководитель Группы электромагнитных технологий NPL	10.08.2013-31.12.2014	Исследованы спектры пропускания волокон естественного происхождения в ТГц диапазоне спектра
2.	Генеральное соглашение о научном сотрудничестве	Институт оптики, точной механики и физики Китайской академии наук, г. Чанчунь, КНР. 3888 Донгнанху роад, Чанчунь, 130033, КНР	Зуев В.В., зам. директора по науке ИМКЭС СО РАН; Ван Чен, директор института		Исследованы физические свойства кристаллов GaSe легированных Er, генерация второй гармоники в кристаллах GaSe:Al и GaSe:Er

Посещение ИМКЭС СО РАН иностранными специалистами

№ п/п	Ф.И.О., дата рождения, гражданство	Страна	Учреждение, должность	Цель визита	Даты визита
1.	Хао Гуоченг (Hao Guocheng), 18.04.1975, КНР	КНР	Китайский геологический университет (China University of	Стажировка в области изучения природы естественного импульсного электромагнитного поля Земли (ЕИЭМПЗ), при-	01.06.2013-05.06.2013

			Geosciences), ул. Ламо №388, Ухань, Китай (No. 388 Lumo Road, Wuhan, 430074, China)	менения ЕИЭМПЗ для прогноза различных процессов – оползней, землетрясений. Исследования по выявлению резонансов приливов в Земной коре и их проявлением в сейсмическом, электромагнитном и газогидрогеохимическом полях, технология РПВ НГЗ (регистрация приливных воздействий на нефтегазовые залежи).	
--	--	--	---	---	--

Международные научные мероприятия, проведенные ИМКЭС СО РАН

В 2013 г. Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН совместно с Сибирским центром климато-экологических исследований и образования провел 1 международное научное мероприятие:

- Международную молодежную школу и конференцию по вычислительно-информационным технологиям для наук об окружающей среде: “СITES-2013”, **25 августа** – 5 сентября 2013 г. , Петрозаводск, Россия. В рамках конференции проведено Рабочее совещание NEESPI/SIRS (3 – 5 сентября), организованное совместно с NEESPI.

В работе мероприятия приняли участие 150 представителей 36 научных организаций, из них 73 – молодые ученые. Среди участников 12 представителей 11 зарубежных организаций (Украина -1, США – 9, Китай – 1, Япония – 1). Российские участники представляли 25 научных институтов: из Томска (2), Москвы (7), Новосибирска (3), Санкт-Петербурга (4), Петрозаводска (3), Ростова-на-Дону (2), по одному институту из Красноярска, Долгопрудного, Обнинска.

Финансовую поддержку оказали: РФФИ (проект 13-05-06050_г); Всемирная Метеорологическая Организация; Программа NEESPI; Секретариат Азиатско-Тихоокеанской Сети (APN) .

Иностранные участники конференции

№ п/п	Ф.И.О.		Страна
1.	Павел Гройсман*		США
2.	Андрей Соколов*		США
3.	Александр Шикломанов*		США
4.	Лариса Назаренко*		США
5.	Сергей Марченко*		США
6.	Гарик Гутман	Garik Gutman	США
7.	Чарльз Лэйн	Charles R. Lane	США
8.	Бред Отри	Brad Autrey	США
9.	Чианлай Жуанг	Qianlai Zhuang	США
10.	Шамиль Максютлов*		Япония
11.	Ай Ликун	Ailikun	КНР
12.	Геннадий Коротаев		Украина

* граждане РФ, работающие за рубежом

Участие в работе международных организаций, членство в зарубежных национальных академиях

1. Кабанов Михаил Всеволодович – член Американского физического общества
2. Гордов Евгений Петрович – член Европейской академии наук, член Европейского геофизического союза, член Американского геофизического союза
3. Андреев Ю.М. – член Оптического общества Америки, приглашенный профессор Китайской академии наук, в 2013 году получил Золотую медаль Китайской академии наук - Award for International Scientific Cooperation of the Chinese Academy of Sciences

2.4. ИТОГИ НАУЧНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

2.4.1. ПУБЛИКАЦИИ

В таблице приведены сравнительные данные по научной деятельности Института за последние 5 лет:

	2009	2010	2011	2012	2013
Публикации	360	388	351	323	363
Монографии (учебные пособия)	4 (1)	6 (1)	8(2)	10 (1)	10
Статьи в рецензируемых журналах	84	83	70	92	78
Статьи в зарубежных журналах и сборниках	12	14	22	16	18
Доклады на симпозиумах	259	284	249	204	257
Международные	113	235	145	122	148
Российские	140	37	103	77	94
Региональные	3	6	10	5	15
Участие в выставках	7	6	11	11	7

ОХРАННАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ

№ п/п	Показатели	Объекты интеллектуальной собственности								
		Изобретения	Полезные модели	Промышленные образцы	Селекционные достижения	Товарные знаки	Программы для ЭВМ	Базы данных	Топологии интегральных микросхем	Ноу-хау
1	Подано заявок в РФ*	2					5			
2	Получено положительных решений по заявкам на выдачу охранных документов РФ* или свидетельств о регистрации	3	2				4			

3	Получено охранных документов (свидетельств о регистрации) в РФ**, в том числе в рамках выполнения НИОКР по государственным контрактам	7	2							
4	Прекращено поддержание охранных документов в силе в РФ**	2								
5	Количество охранных документов, действующих в РФ**	27	5							
6	Подано заявок за рубежом - в том числе в странах СНГ									
7	Получено охранных документов за рубежом - в том числе в странах СНГ									
8	Прекращено поддержание охранных документов в силе за рубежом - в том числе в странах СНГ									
9	Количество охранных документов, действующих за рубежом - в том числе в странах СНГ									
10	Продано лицензий в РФ									
11	Продано лицензий за границ - в том числе в страны СНГ									
12	Заключено договоров об отчуждении исключительного права									

*В отношении программ для ЭВМ, баз данных и топологий ИМС учитываются только результаты, связанные с государственной регистрацией (в Роспатенте), для ноу-хау – регистрация и действие в организации-разработчике.

** В отношении программ для ЭВМ, баз данных и топологий ИМС свидетельства об официальной регистрации не являются охранными документами.

УЧАСТИЕ В ВЫСТАВКАХ

№ n/n	Наименование выставки (ранг)	Место и время проведения	Участие (демонстрируемые приборы, стенды, экспозиции и т.д.)	Награды (участники)
1	14 Международный форум и выставка «Высокие технологии XXI века»	Россия, г.Москва, 24-26 апреля 2013 г.	Ультразвуковой метеокомплекс АМК	Корольков В.А. (сертификат участника – ИМКЭС)

2	XV Томский инновационный форум INNOVUS	Россия, г.Томск, 22-23 мая 2013 г.	Метеокомплекс 1Б65 Оптико-электронный двухканальный измеритель осадков СКР – газоанализатор МГР - 01	Кобзев А.А., Гордеев В.Ф., Петров Д.В., Мальшиков С.Ю.
3	Выставка пеларгоний, фиалок и других цветов	Россия, г.Томск, пр. Кирова, 7 13-14 июля 2013 г.	Представлена инновационная продукция (органическое удобрение «БИОДАР+»)	Мягков А.С.
4	Международная промышленная выставка «IDES Siberia/ Развитие инфраструктуры Сибири – 2013»	Россия, г.Новосибирск, МВК Новосибирск Экспо-центр». 1-4 октября 2013г.	Представлены результаты развития технологии получения биогаза с повышенными концентрациями метана и были сделаны предложения по налаживанию научно-практических контактов с Ассоциацией «Сибирское соглашение» по данному направлению.	Мягков А.С.
5	Томский межрегиональный форум «ЭКОЛОГИЯ-XXI ВЕК»	Россия, г.Томск, Конгресс-центр «Рубин» пр. Академический, 16 14-18 октября 2013 г.	Представлены экспонаты: 1.Ультразвуковой метеокомплекс АМК 2.Система мониторинга и прогнозирования метеопараметров «Штормовое кольцо» 3.Система мониторинга земли МГР-01 4.Система контроля состояния мостов и инженерных сооружений «Надвижка» 5.Системы контроля снежного покрова и температуры промерзания почвы 6.Лазерный измеритель осадков 7.Органическое удобрение «БИОДАР+».	Мягков А.С.

6	ENES 2013 – Второй международный форум по энергоэффективности и энергосбережению	Россия, г.Москва, на территории Гостиного двора 21-23 ноября 2013 г.	Презентация разработок Института	Мягков А.С.
7	Постоянно действующая выставка СО РАН	г. Новосибирск	ДОГ-1, РГА-11, Монокристаллы ZnGeP ₂ , МГР-01, АМК-03, «Фаза», «Прочность-1», АМТ, Кедровые саженцы	

Примечание: ДОГ-1 – газоанализатор NO; РГА-11 – анализатор ртути; МГР-01 – многоканальный геофизический регистратор; АМК-03 – автоматизированный метеорологический комплекс; «Фаза»- многоканальный измеритель вертикальных перемещений; «Прочность-1» - регистратор электромагнитной эмиссии; АМТ - блок сбора и временного хранения информации minibook (автономный малогабаритный терминал).

ПРОВЕДЕНИЕ КОНФЕРЕНЦИЙ

Название и тема мероприятия (ранг)	Место проведения, ответственная за проведение организация	Даты проведения
Школа молодых ученых и международная конференция по вычислительно-информационным технологиям для наук об окружающей среде: “СITES-2013”	г. Петрозаводск, ИМКЭС СО РАН, СЦ КЛИО	25.08.2013-5.09.2013г.
X Сибирское совещание по климатологическому мониторингу	г. Томск, ИМКЭС СО РАН	14.10.2013-17.11.2013г.
XI Международная конференция Импульсные лазеры на переходах атомов и молекул (AMPL)	Г. Томск, ИОА СО РАН	16.09.2013-20.09.2013г.

ИНФОРМАЦИЯ О ВЗАИМОДЕЙСТВИИ АКАДЕМИЧЕСКОЙ НАУКИ С ОТРАСЛЕВОЙ НАУКОЙ

1 проект в ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России на 2009 - 2013 годы»

3 проекта в Государственной программе вооружения. Государственный оборонный заказ на 2013 год.

СВЯЗЬ С ВУЗАМИ

Наличие	Количество	Название вуза
учебно-научного центра по подготовке высококвалифицированных специалистов		
совместных кафедр с вузами		
совместных лабораторий с вузами		
совместной научной инфраструктуры: экспериментальных стендов, полигонов, информационно-коммуникационных сетей и т.д.		
<p>других образовательных учреждений, созданных с участием научных учреждений СО РАН (указать вид учреждения)</p> <p>1. Филиал кафедры метеорологии и климатологии ТомГУ</p> <p>2. Филиал кафедры электронных приборов ТУСУР</p> <p>3. Филиал кафедры радиотехнических систем ТУСУР</p> <p>4. Филиал кафедры «Опτικο-электронные системы и дистанционное зондирование»</p> <p>5. Филиал Отделения послевузовского профессионального образования</p> <p>6. Некоммерческое партнерство «Сибирский центр климато-экологических исследований и образования»</p> <p>7. Научно-образовательный центр мониторинга геосферно-биосферных изменений (НОЦ МГБИ)</p>		<p>ТГУ</p> <p>ТУСУР</p> <p>ТУСУР</p> <p>ТГУ</p> <p>ТУСУР</p> <p>ТГУ, ТУСУР</p> <p>ТГУ, Югорский государственный университет</p>

Участие сотрудников в подготовке кадров:

	Общее число	Доктора наук	Кандидаты наук
Преподаватели в вузах	19	7	12
Руководство дипломными проектами	13	3	10
Руководство магистерскими диссертациями	15	6	9
Руководство аспирантами	14	8	4

***Число студентов, магистрантов и дипломников, в процессе обучения
которых принимают участие сотрудники:***

	Общее число	Итого
Число студентов обучающихся на совместных кафедрах	54	118
Число магистрантов обучающихся на совместных кафедрах	8	
Число студентов выполнявших курсовые работы	30	
Число дипломников и магистрантов, выполнивших работы в научных учреждениях	26	

Сотрудники Института, осуществляющие преподавательскую деятельность:

№	ФИО	Должность	Учреждение
1	Бородавко Павел Станиславович	доцент кафедры, к.г.н.	ТГУ
2	Волков Юрий Викторович	доцент кафедры, к.т.н.	ТПУ
3	Гейко Павел Пантелеевич	профессор кафедры, д.ф.-м.н.	ТГУ
4	Гордеев Василий Федорович	ст. преподаватель, к.т.н.	ТГАСУ
5	Гордов Евгений Петрович	профессор кафедры, д.ф.-м.н.	ТГУ
6	Золотов Сергей Юрьевич	доцент кафедры, к.ф.-м.н.	ТУСУР
7	Зотикова Альбина Петровна	доцент кафедры, к.б.н., доцент	ТГУ
8	Зуев Владимир Владимирович	профессор кафедры, д.ф.-м.н., чл.-корр. РАН	ТПУ
9	Кабанов Михаил Всеволодович	профессор кафедры, д.ф.-м.н., чл.-корр. РАН	ТГУ
10	Копысов Сергей Геннадьевич	доцент кафедры, к.г.н.	ТГУ
11	Красненко Николай Петрович	профессор кафедры, д.ф.-м.н.	ТУСУР

12	Кузнецов Александр Сергеевич	доцент кафедры, к.г.н.	ТГПУ
13	Логинов Сергей Владимирович	ассистент кафедры, к.ф.-м.н.	ТПУ
14	Ляпина Елена Евгеньевна	ассистент кафедры, к.г.-м.н.	ТПУ
15	Мягков Александр Сергеевич	ст. преподаватель	ТУСУР
16	Нагорский Петр Михайлович	профессор кафедры, д.ф.-м.н.	ТГУ
17	Поздняков Александр Васильевич	профессор кафедры, д.г.н	ТГУ
18	Пучкин Алексей Васильевич	доцент кафедры, к.г.н.	ТГУ
19	Симонова Галина Владимировна	старший преподаватель, к.т.н.	ТГУ
20	Тельминов Алексей Евгеньевич	доцент кафедры, к.ф.-м.н.	ТГУ
21	Тихомиров Александр Алексеевич	профессор кафедры, д.т.н.	ТУСУР

2.5. ОФИЦИАЛЬНОЕ ПРИЗНАНИЕ

Почетной грамотой Сибирского отделения РАН награждены 3 человека (Калинкина Е.А., Соколова О.А., Тихомиров А.А.). Почетной грамотой Администрации Томской области награжден д.ф.-м.н. Е.П.Гордов. Почетной грамотой Администрации г. Томска награжден д.ф.-м.н. Н.П.Красненко. Благодарность Совета ректоров вузов Томской области объявлена д.ф.-м.н. П.П.Гейко. Благодарность за высокопрофессиональный труд и в связи со 135-летием ТГУ объявлена Ю.М.Андрееву и Г.В.Ланскому. Почетной грамотой ТНЦ СО РАН награждены 8 человек (Андреев Ю.М., Бочаров А.Ю., Волкова Е.С., Кузнецов А.С., Левченко А.Н., Максимов В.Г., Мелков В.Н., Номикос О.Н.). Почетное звание «Заслуженный ветеран СО РАН» присвоено 7 сотрудникам Института (Бочарова Е.И., Гизатулина А.Х., Кузьменкова Н.А., Невидимова О.Г., Непотребный В.А., Смирнов С.В., Хуторной О.В.). Стипендии Президента РФ удостоены к.т.н. Т.М.Шульгина и к.т.н. Д.В.Петров. Дипломом Торгово-промышленной палаты РФ награжден ИМКЭС СО РАН, дипло-

мом Международного форума «Интеллектуальная собственность – XXI век» награждены Григорьева А.С. и Корольков В.А. Успешно защитили кандидатские диссертации Керчев И.А., Кобзев А.А., Панченко Е.М., Петров Д.В., Тимошок Е.Н., Харюткина Е.В., а Головацкая Е.А. защитила докторскую диссертацию. Маркелова А.Н. (м.н.с. ЛБИТ) заняла II место на конкурсе докладов молодых ученых ТНЦ.

III. ФИНАНСОВО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ

Сведения о научных исследованиях, выполненных за 2013 г.

Сведения о научных исследованиях		Количество тем	Финансирование (тыс. руб.)
1.	Гранты и конкурсные проекты всего:	44	28355
2.	<i>В том числе</i>		
3.	Президентские программы: количество	1	480
4.	государственные научно-технические программам (ФЦП) количество заданий	4	19135
5.	региональные программы количество	1	250
6.	гранты РФФИ количество	17	6683
7.	зарубежные гранты количество		0
8.	международные проекты количество		0
9.	договора с российскими заказчиками (хоздоговора) количество	21	1807
10.	соглашения с зарубежными партнерами количество		0
11.	Программы СО РАН + РАН (всего) количество тем	31	140645
	<i>в том числе</i>		
12.	<i>Базовое финансирование</i> количество тем	10	129620(+стипендии 1460)
13.	Программы СО РАН количество тем	21	11025
	<i>в том числе</i>		
14.	интеграционные проекты количество тем	8	3920

15.	молодежные проекты	<i>количество тем</i>	1	195
16.	поддержка экспедиций и стационаров	<i>количество тем</i>	8	980
17.	программа производства импортозамещающего оборудования, поддержка музеев, Фонд Бортника	<i>количество тем</i>	3	4750
18.	СО РАН (Программы Президиума РАН)	<i>количество тем</i>	1	1180
19.	СО РАН (Программы Отделений РАН)	<i>количество тем</i>		

Финансирование (тыс. руб.)

20.	Бюджетное финансирование СО РАН (всего)			140645
		<i>в том числе</i>		
21.		<i>базовое финансирование</i>		129620
22.		<i>Число проектов</i>		10
23.	<i>Программы СО РАН и РАН (средства СО РАН)</i>			11025
24.		<i>Число проектов</i>		21
25.	Программы РАН (средства РАН)			
26.		<i>Число проектов</i>		0
27.	Финансирование по грантам, конкурсным проектам и договорам			28355
28.		<i>Число проектов</i>		44
29.	Прочее финансирование (аренда + прочее)			5210
30.	ИТОГО: Общий объем финансирования			174229(без стипендий)