



XIII

СИБИРСКОЕ СОВЕЩАНИЕ И ШКОЛА
МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ ПО КЛИМАТО-
ЭКОЛОГИЧЕСКОМУ МОНИТОРИНГУ

ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ

15-19 ОКТЯБРЯ 2019 г.

г. ТОМСК

УДК 551.5: 504
26.234.7+20.1

Т676 Тринадцатое Сибирское совещание и школа молодых ученых по климато-экологическому мониторингу: Тезисы докладов российской конференции. / Под ред. М. В. Кабанова. – Томск: Аграф-Пресс, 2019. – 293 с.

ISBN 978-5-98693-069-5

В сборник включены тезисы докладов по методологии и результатам исследований современного состояния и тенденций изменения климатической системы Сибирского региона. Рассмотрены научно-методические вопросы организации многокомпонентного мониторинга мезомасштабных природно-территориальных комплексов Сибири по физической, химической, биологической и техногенной компонентам системы. Представлены доклады по методологии и результатам исследований, оценке состояния и выявлению происходящих изменений в экосистемах бореальных лесов. Рассмотрены вопросы заболачивания ландшафтов таёжной зоны. Представлены доклады о влиянии антропогенных факторов на трансформацию ландшафтов Сибири.

Сборник представляет интерес для специалистов в области климатологии, метеорологии, экологии, охраны окружающей среды, а также по физическим и техническим проблемам климато-экологических изменений.

ISBN 978-5-98693-069-5

© Институт мониторинга климатических
и экологических систем СО РАН, 2019

СОДЕРЖАНИЕ

Секция 1. МОНИТОРИНГ ПРИРОДНО-КЛИМАТИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ

<i>Алешина М.А., Семенов В.А., Чернокульский А.В.</i> Связь экстремальных осадков с увеличением температуры: рост или уменьшение?	9
<i>Алимпиева М.А., Кононова Н.К., Морозова С.В., Полянская Е.А.</i> Долговременная динамика объектов циркуляции как основа физико-статистического моделирования регионального климата	11
<i>Алимпиева М.А., Кононова Н.К., Морозова С.В., Полянская Е.А.</i> О влиянии зимнего азиатского антициклона на динамику индекса северо-атлантического колебания	13
<i>Алимпиева М.А., Кононова Н.К., Морозова С.В., Полянская Е.А.</i> Применение трехфазной модели дискриминантного анализа для долгосрочного прогноза гидрометеорологических явлений	15
<i>Антохина О.Ю., Антохин П.Н., Аршинов М.Ю., Белан Б.Д., Белан С.Б., Давыдов Д.К., Симоненков Д.В., Фофанов А.В., Черников С.А.</i> Сравнение наземных измерений концентраций метана в западной сиббири с данными МАСС/CAMS	17
<i>Астафьева Н.В., Лоценко К.А.</i> Оценка комфортности проживания на территории Иркутской области в начале XXI века	19
<i>Бокучава Д.Д., Семенов В.А.</i> Потепление середины XX века: особенности и механизмы	21
<i>Болтушкина Е.М., Волкова М.А., Кужевская И.В.</i> Оценка зон обледенения воздушных судов в районе аэродрома Томск	23
<i>Василенко О.В., Воропай Н.Н., Черкашина А.А.</i> Вклад морфометрических характеристик рельефа в пространственно-временную неоднородность микроклиматического режима территории (на примере тункинской ветви котловин)	25
<i>Волков Ю.В., Калашникова Д.А., Крайнюков А.А., Симонова Г.В.</i> Изотопный состав атмосферных осадков г. Томска	27
<i>Волкова М.А., Чередыко Н.Н.</i> Изменчивость режима увлажнения юго-востока Западной Сибири	29
<i>Володина Д.А., Таловская А.В.</i> Оценка загрязнения снегового покрова в зоне воздействия цементного завода	31
<i>Воропай Н.Н., Рязанова А.А., Дюкарев Е.А.</i> Отклик наземной растительности на изменение гидротермических условий	33
<i>Гледко Ю.А., Сенькив К.А.</i> Метеорологические условия образования обледенения воздушных судов (на примере территории Беларуси)	35
<i>Ерисковская Л.А.</i> Влияние скорости ветра на влажность воздуха на леднике Туйыксу	37
<i>Жукова В.А., Кошикова Т.С.</i> Определение параметров мезомасштабных комплексов при анализе данных спутникового зондирования	39
<i>Журавлева Т.Б., Насртдинов И.М., Чеснокова Т.Ю., Артюшина А.В.</i> Радиационные характеристики дымового аэрозоля в районе ст. Тикси (Якутия) по данным измерений и численного моделирования	41
<i>Завазиева Д.-С.М., Воропай Н.Н.</i> Изменение влажности почвы в естественных и антропогенно нарушенных условиях в тункинской котловине	43
<i>Золотов С.Ю., Логинов С.В.</i> Определение ширины тропического пояса Земли на основе положения субтропических струйных течений	44
<i>Золотов С.Ю., Логинов С.В.</i> Особенности изменчивости северного субтропического струйного течения	46
<i>Иванова Е.П., Барашикова Н.К., Волкова М.А.</i> Гололедно-изморозевые явления на территории Томской области	48
<i>Какуркина О.Ю., Харюткина Е.В., Мартынова Ю.В.</i> Особенности изменчивости характеристик атмосферных осадков на территории Западной Сибири по разным базам данных	50
<i>Кижнер Л.И., Пичугина Т.Н.</i> Гололедные явления на территории Томской области в современный период	52
<i>Кирста Ю.Б., Ловцкая О.В.</i> Прогноз температур и осадков Алтае-Саянской горной страны с годовой заблаговременностью	54

<i>Киселев М.В., Воронай Н.Н., Дюкарев Е.А.</i> Формирование температурного режима почв в естественных и антропогенно нарушенных условиях	56
<i>Кононова Н.К.</i> Погодные экстремумы в Сибири в 2019 г. и их связь с циркуляцией атмосферы	58
<i>Коронатова Н.Г.</i> Температурный режим олиготрофных торфяных почв на юге и севере Западной Сибири	60
<i>Коротченко М.М., Воронай Н.Н.</i> Изменение сумм атмосферных осадков в горных условиях	62
<i>Кужевская И.В., Чурсин В.В.</i> Методика распознавания зон сильных осадков на основе спутниковых данных	64
<i>Кузнецова В.П.</i> Реакция природной среды на изменение климата в условиях северных широт (на примере таежной зоны Ханты-Мансийского автономного округа - Югры)	66
<i>Куксова Н.Е., Семёнов В.А., Торопов П.А.</i> Анализ механизмов формирования опасных явлений погоды в теплое полугодие в московском регионе	68
<i>Латышева И.В.</i> Циркуляционные факторы изменений климата в сибирском регионе	70
<i>Латышева И.В., Белоусова Е.П., Гаращук С.А., Латышев С.В.</i> Сезонные особенности климатических аномалий на территории Иркутской области	72
<i>Логинов С.В.</i> Оценка нелинейных связей основных метеовеличин в тропосфере Северной Евразии	74
<i>Ломакина Н.Я., Лавриненко А.В.</i> Статистика нижней слоистообразной облачности над территорией сибирского региона	76
<i>Малахова В.В.</i> Субаквальная мерзлота арктического шельфа: оценка мощности и площади распространения	78
<i>Мартынова Ю.В.</i> Отклик тропосферы и нижней стратосферы зимой на предшествующие осенние региональные возмущения у поверхности в Сибири	80
<i>Матвеева Т.А., Семёнов В.А.</i> Связь ледовитости арктических морей с температурой воздуха в Северном полушарии	82
<i>Нагорский П.М., Корольков В.А., Пустовалов К.Н., Тельминов А.Е.</i> Развитие опасных метеоявлений, связанных с экстремальными понижениями температуры зимой, по данным сети метеостанций ТАА-01	84
<i>Наджарян А.А., Волкова М.А.</i> Метеорологические условия формирования опасных гидрологических явлений на территории Томской области	86
<i>Немировская Л.Г.</i> Некоторые результаты оценки режима периодов недостаточного увлажнения (определённых по критерию, дифференцированно учитывающего режим осадков в эти периоды), как индикатора региональных климатических изменений, на основе создания специализированных банков данных изучаемых периодов, для юго-востока Западной Сибири	88
<i>Никитина А.Е., Пустовалов К.Н., Нагорский П.М.</i> Характеристики мезомасштабных конвективных комплексов юго-востока Западной Сибири по данным спутникового зондирования	90
<i>Носырева О.В., Квасова А.Н.</i> Влияние параметров тепловлагообеспеченности вегетационного периода года на урожайность зерновых культур в Томской области	92
<i>Носырева О.В., Никифоров М.А.</i> Климатические условия весенне-осенних переходных периодов года в Западной Сибири и их влияние на дорожный транспорт	94
<i>Носырева О.В., Старикова И.А.</i> Агроклиматические показатели теплого периода года и их пространственное распределение	96
<i>Оглезнева М.В., Пустовалов К.Н., Нагорский П.М.</i> Динамика концентраций лёгких ионов при прохождении ливней и гроз	98
<i>Осипова О.П., Осипов Э.Ю., Василенко О.В.</i> Циркуляционные процессы в атмосфере и режим осадков теплого периода в ледниковой зоне Кодара	100
<i>Парежева Т.В., Воронай Н.Н.</i> Распределение приходящей суммарной солнечной радиации с учетом влияния закрытости горизонта на основе GIS	102
<i>Поднебесных Н.В.</i> Долговременные изменения атмосферной циркуляции над Сибирью	104
<i>Пустовалов К.Н., Нагорский П.М., Кабанов М.В.</i> Модификация атмосферно-электрических величин под воздействием смога от природных пожаров на территории Сибири	106

<i>Пустовалов К.Н., Харюткина Е.В., Логинов С.В., Нагорский П.М.</i> Плотность разрядов молний на юго-востоке Западной Сибири по данным OTD и WLLN	108
<i>Самойлова Е.А., Таловская А.В.</i> Оценка аэротехногенного загрязнения в окрестностях угольной ТЭЦ по данным изучения снегового покрова (на примере северской ТЭЦ)	110
<i>Скляднева Т.К., Белан Б.Д., Рассказчикова Т.М., Аршинова В.Г.</i> Радиационный и синоптический режим Томска в конце XX – начале XXI вв.	112
<i>Смирнов С.В.</i> Эритемное и биологически активное УФ-излучение: результаты мониторинга	114
<i>Суторихин И.А., Самойлова С.Ю., Коломейцев А.А., Кураков С.А.</i> Метеорологические условия и уровеньный режим озера Красиловское (Алтайский край) в 2013-2017 гг.	116
<i>Тартаковский В.А., Чередыко Н.Н., Максимов В.Г.</i> О потеплении в Северном полушарии	118
<i>Тартаковский В.А., Чередыко Н.Н., Максимов В.Г.</i> Распределение инсоляции и средняя полушарная температура	120
<i>Тентюков М.П., Симоненков Д.В., Габов Д.Н., Языков Е.Г.</i> Загрязнение снежного покрова при сухом осаднении ПАУ в процессах инееобразования	122
<i>Титовская А.А., Волкова М.А.</i> Пространственно-временная характеристика прикладных показателей атмосферных осадков на территории Томской области	124
<i>Труханов А.Э., Кочугова Е.А.</i> Пространственные изменения аномально холодных и аномально теплых зим над азиатской Россией	126
<i>Тунаев Е.Л., Горбатенко В.П.</i> Энергия фазовых переходов воды как фактор циклогенеза над Западной Сибирью	128
<i>Усова Е.И., Логинов С.В.</i> Изменчивость адвективных и вихревых потоков тепла в энергоактивных зонах океанов Северного полушария с 1979 по 2018 гг.	130
<i>Усова Е.И., Логинов С.В., Харюткина Е.В.</i> Изменчивость составляющих теплового баланса на территории лесоболотных экосистем Западной Сибири на фоне современных климатических изменений	132
<i>Фролов Д.М.</i> Расчёт глубины промерзания грунта под оголённой и покрытой снегом поверхностью на метеостанции МГУ за зимние сезоны 2011/12-2017/18	134
<i>Чурсин В.В., Кужевская И.В.</i> Мезомасштабные циклоны Обь-Иртышского междуречья	136
<i>Шанкибаева М.Х., Кочеева Н.А.</i> Изучение режима осадков и температурного режима на северной границе гор Алтая	138
<i>Щелканов Н.Н.</i> Результаты исследования ослабления оптического излучения гнусом в фоновых условиях Западной Сибири	140

Секция 2. МОНИТОРИНГ ЭКОСИСТЕМНЫХ ИЗМЕНЕНИЙ

<i>Антипина Т.Г., Преис Ю.И., Галимов А.Т.</i> Природные условия и климат южной тайги Западной Сибири за последние 9000 лет по данным спорово-пыльцевого анализа водораздельного болота	142
<i>Антохина О.Ю., Давыдов Д.К., Дьячкова А.В., Симоненков Д.В., Фофонов А.В., Maksyutov S., Nakayama T.</i> Влияние аномальных погодных факторов на потоки метана и двуокиси углерода в экосистемах Бакчарского болота	144
<i>Базанов В.А., Савичев О.Г., Сеченов В.А.</i> Морфология, стратиграфия и торфообразование в деятельном горизонте рямовых экосистем Западной Сибири	146
<i>Бендер О.Г.</i> Информационные возможности физиологических исследований в оценке состояния пятихвойных сосен в условиях Западной Сибири	148
<i>Бисирова Э.М.</i> Динамика таксационных показателей древостоев пихты сибирской, поврежденных в ходе инвазии уссурийского полиграфа в Томской области	150
<i>Богомоллов В.Ю., Степаненко В.М., Дюкарев Е.А.</i> Моделирование гидрологического режима олиготрофного болота в рамках модели деятельного слоя суши	152
<i>Бондаренко С.Л., Савчук Д.А.</i> Анализ откликов хвойных деревьев на стрессовое воздействие атмосферных факторов	154

<i>Васильева Г.В.</i> Структура гибридной популяции кедр сибирского и кедрового стланика в южном Прибайкалье	156
<i>Велисевич С.Н.</i> Широтная изменчивость качества урожая кедр сибирского	158
<i>Велисевич С.Н., Хуторной О.В., Попов А.В., Горошкевич С.Н.</i> Результаты 30-летнего мониторинга половой репродукции кедр сибирского в связи с динамикой климата	160
<i>Веретенникова Е.Э., Дюкарев Е.А.</i> Эмиссия метана с поверхности верховых болот Западной Сибири	162
<i>Воистинова Е.С.</i> Влияние осушения на содержание органического углерода в водах верхового болота (Бакчарское болото, Западная Сибирь)	164
<i>Вологжина С.Ж., Латышева И.В., Лощенко К.А., Латышев С.В.</i> Погодные и климатические условия лесных пожаров в Иркутской области	166
<i>Воробьева Е.Н., Спицына Т.П., Шапченкова О.А., Любимова Я.О.</i> Оценка накопления металлов в системе почва-растения Торгашинского хребта Красноярского региона	168
<i>Вяйзя А.А., Киселев М.В., Дюкарев Е.А.</i> Особенности температурного режима торфяных почв	170
<i>Гашкова Л.П.</i> Оценка постпирогенного состояния и восстановления растительности верхового болота	172
<i>Голубятников Л.Л.</i> Эмиссия метана из озёр южной тундры Западной Сибири	174
<i>Горошкевич С.Н., Жук Е.А., Васильева Г.В.</i> Мониторинг зимостойкости видов и гибридов 5-хвойных сосен на научном стационаре "Кедр" ИМКЭС СО РАН	176
<i>Давыдова Н.Д., Дубынина С.С.</i> Негативное влияние климатических и антропогенных факторов на состояние степных геосистем Юго-Восточного Забайкалья	178
<i>Дюкарев Е.А., Лапина Е.Д., Филиппова Н.В., Филиппов И.В., Заров Е.А., Дмитриченко А.А.</i> Автоматический мониторинг потоков углекислого газа на грядово-мочажинном комплексе болота «Мухрино»	180
<i>Жук Е.А.</i> Эколого-географическая дифференциация кедрового стланика: исследование ex situ	182
<i>Завалишин Н.Н.</i> Моделирование биологического круговорота и тепломассообмена в торфяных залежах болотных ландшафтов южной тайги при изменении климата	184
<i>Керганд А.А.</i> Оценка горимости болот Томской области	186
<i>Керчев И.А., Кривец С.А., Скороходов С.Н., Смирнов Н.А.</i> Союзный короед Ips Amitinus – новый фактор деградации припоселковых кедровников в Западной Сибири	188
<i>Клинкович Е.В., Спицына Т.П., Симонова С.А.</i> Определение запаса травянистых растений гремучей гривы г. Красноярска	190
<i>Копысов С.Г.</i> Гидролого-климатическое обоснование изменений в таёжных ландшафтах	192
<i>Копысов С.Г., Чернова Н.А., Климова Н.В., Дюкарев А.Г.</i> Современная динамика экосистемных процессов в зоне действия томского водозабора	194
<i>Курьина И.В.</i> Адаптация моделей трансферной функции, основанных на данных ризоподного анализа, для реконструкции глубины уровня болотных вод на низинной и переходной стадии развития верхового болота	196
<i>Лапина Л.Э., Воронай Н.Н.</i> Зависимость функции температуропроводности от температуры почвы на примере песчаных отложений массива бадар (Тункинская котловина)	198
<i>Лапина Л.Э., Дюкарев Е.А.</i> Оценка пампинг-эффекта на примере болота Западной Сибири	200
<i>Ленько О.А., Тихонова И.В., Белых О.И., Спицына Т.П.</i> Изучение трофического статуса озера Байкал в глубоководной части озера и мелководных заливов	202
<i>Малолетко А.А., Иванова Е.С., Харанжевская Ю.А., Синюткина А.А., Гашкова Л.П.</i> Оценка антропогенной деградации болот Западной Сибири на примере верхового болота в бассейне реки Гавриловка	204
<i>Маркелова А.Н., Симонова Г.В., Калашишникова Д.А., Волков Ю.В., Мелков В.Н.</i> Изотопная дендрохроноиндикации антропогенных процессов в южно-таежной подзоне Западно-Сибирской равнины	206
<i>Мартынова Ю.В., Крупчатников В.Н.</i> Оценка влияния различных атмосферных условий на потоки CO ₂ для лесных экосистем Сибири по данным моделирования	208

<i>Маслов К.А., Токарева О.С.</i> Мониторинг изменений состояния хвойных лесов, поврежденных насекомыми-вредителями, с использованием космических снимков	210
<i>Мельник М.А.</i> Методические подходы к оценке ущерба, вызванного инвазией уссурийского полиграфа в темнохвойные леса Сибири	212
<i>Никонова Л.Г., Головацкая Е.А., Терещенко Н.Н.</i> Скорость разложения растений-торфообразователей на начальных стадиях деструкции в торфяной залежи олиготрофных болот «Бакчарское» и «Тимирязевское»	214
<i>Полякова О.И., Жук Е.А.</i> Семеношение клонов мутационных "ведьминых метел" в условиях южной Сибири	216
<i>Попов А.Г.</i> Состояние экзотов 5-хвойных сосен в условиях юга лесной зоны Западной Сибири	217
<i>Прейс Ю.И., Антипина Т.Г., Зенин В.Н., Савельева А.В., Серебренникова О.В., Симонова Г.В., Воронай Н.Н.</i> Динамика функционального состояния раннеголоценового болота Болтное как отклик на изменение палеоклимата (южная тайга Западной Сибири)	220
<i>Прейс Ю.И., Савельева А.В., Зенин В.Н., Воронай Н.Н.</i> Пигментный комплекс торфов болота Болтное как индикатор изменений климата голоцена в южной тайге Западной Сибири	222
<i>Райская Ю.Г., Тимошок Е.Н.</i> Мониторинг ценопопуляций <i>Surgipedium Guttatum Sw.</i> на территории заповедника «Тунгусский»	224
<i>Савчук Д.А., Луговская Н.С.</i> Мониторинг возрастной структуры лиственничников зоны контакта леса и степи (Курайская котловина, Северо-Чуйский хребет, Горный Алтай)	226
<i>Седелникова Т.С., Пименов А.В., Муратова Е.Н., Ефремов С.П., Орешкова Н.В.</i> Кариологические и молекулярно-генетические исследования хвойных на болотах и суходолах Западной Сибири	228
<i>Семенова К.А.</i> К методике расчета аккумуляции солнечной энергии в растительности юга Сибири	230
<i>Синюткина А.А., Каширо М.А., Чудиновская Л.А.</i> Комплексная оценка состояния лесоболотных экотонов северо-восточных отрогов Большого Васюганского болота	232
<i>Синюткина А.А., Чудиновская Л.А.</i> Оценка условий гидроморфной трансформации лесоболотных экотонов разных геоморфологических уровней	234
<i>Тимошок Е.Е., Белова М.Н., Тимошок Е.Н., Скороходов С.Н.</i> Мониторинг биоразнообразия сосудистых растений в высокогорных лиственничниках Северо-Чуйского хребта (Горный Алтай)	236
<i>Тимошок Е.Н., Тимошок Е.Е., Савчук Д.А.</i> Особенности послепожарных сукцессий в долине р. Актру (Центральный Алтай)	238
<i>Харанжевская Ю.А., Чудиновская Л.А., Синюткина А.А.</i> Сезонная вариация условий формирования химического состава вод северо-восточной части Васюганского болота	240

Секция 3. ИНФОРМАЦИОННО-ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЕ, ГЕОИНФОРМАЦИОННОЕ И ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ МОНИТОРИНГА

<i>Алексеева М.Н., Рапута В.Ф., Яценко И.Г., Ярославцева Т.В.</i> Оценивание полей регионального загрязнения территорий Томской области продуктами сжигания попутного нефтяного газа	242
<i>Амикишиева Р.А., Сересева О.В., Рапута В.Ф., Медвяцкая А.М.</i> Информационная система обработки данных мониторинга для анализа процессов распространения примеси от площадных источников	245
<i>Ареvalo Леон Ф.Э., Ботыгин И.А.</i> Исследование по обработке и фильтрации метеорологических данных	247
<i>Барановский Н.В.</i> Математическое моделирование антропогенной нагрузки для прогноза лесной пожарной опасности	249
<i>Барановский Н.В.</i> Использование данных глобальной сети пеленгации грозовых разрядов WWLLN для прогноза лесной пожарной опасности	251
<i>Власов Е.В., Красненко Н.П., Кузьмин А.А., Кухта А.Е., Раков А.С.</i> Аппаратно-программный комплекс для обеспечения орнитологической безопасности аэропорта	253
<i>Волков Ю.В., Тартаковский В.А., Катаев С.Г.</i> Исследование методов кластеризации температурных рядов	255
<i>Волкова Е.С.</i> Возможности ГИС для пространственного анализа опасных природных процессов, связанных с распространением вредителей леса	257

<i>Гейко П.П.</i> Определение содержания оксидов хлора и брома в приземной атмосфере в УФ-области спектра	259
<i>Захаров Ф.Н., Филимонов В.А., Красненко Н.П.</i> Оценка влажности тропосферы по сигналам ГНСС	261
<i>Зуев С.В.</i> Результаты работы двухэлементного измерителя характеристик солнечного излучения	263
<i>Коковкин В.В., Рапута В.Ф.</i> Экспериментальные исследования и численный анализ процессов загрязнения окрестностей ТЭЦ г. Новосибирска	265
<i>Кочергин Г.А., Якимчук А.В., Курриянов М.А.</i> Реализация модели оценки и прогнозирования рисков состояния лесного фонда нефтедобывающего региона	267
<i>Кошикова Т.С., Кузевская И.В., Пустовалов К.Н.</i> Мезомасштабные конвективные комплексы над юго-востоком Западной Сибири	269
<i>Кураков С.А.</i> Модификации атмосферно-почвенного измерительного комплекса «АПИК»	271
<i>Леженин А.А., Рапута В.Ф., Ярославцева Т.В.</i> Использование спутниковых данных в анализе распространения дымовых шлейфов ТЭЦ	273
<i>Лемешонок К.А., Ботыгин И.А.</i> Разработка нейронной сети для прогнозирования временных рядов метеорологических параметров	275
<i>Макеев Е.А., Дюкарев Е.А., Кураков С.А.</i> Программное обеспечение для расчёта эффективной теплопроводности снега по данным автоматических измерений профиля температуры	277
<i>Мордус Д.П., Зуев В.В., Павлинский А.В.</i> Мониторинг условий обледенения воздушных судов в районе аэродрома г. Томска	279
<i>Рапута В.Ф., Зиновьев А.Т., Ловцкая О.В.</i> Модели и методы численного анализа процессов загрязнения речной воды	281
<i>Седун Д.А., Ботыгин И.А.</i> Разработка программного обеспечения для обработки и анализа метеорологических данных	283
<i>Солтаганов Н.А., Ботыгин И.А.</i> Исследование инструментов для построения сезонных прогнозных моделей	285
<i>Турсуналиева Е.М., Ляпина Е.Е., Юсупов Д.В., Рихванов Л.П.</i> Биогеохимическая индикация ртути на трансграничных территориях Павлодарской области и Алтайского края	287
<i>Цуй Цзян, Лантев Р.С., Бордулев Ю.С.</i> Применение позитронной спектроскопии для исследования структуры природных полимеров на примере сосны сибирской кедровой	289
<i>Шуклина Е.С., Воронай Н.Н.</i> Исследование динамики температуры почвы по данным натурных наблюдений с высоким временным разрешением	291

Секция 1

МОНИТОРИНГ ПРИРОДНО-КЛИМАТИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ

СВЯЗЬ ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ ОСАДКОВ С УВЕЛИЧЕНИЕМ ТЕМПЕРАТУРЫ: РОСТ ИЛИ УМЕНЬШЕНИЕ?

Алешина М.А.^{1,2}, Семенов В.А.^{1,2}, Чернокульский А.В.²

¹ Институт географии РАН (г. Москва)

² Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН (г. Москва)

aleshina@igras.ru

Период последних трех десятилетий по данным инструментальных наблюдений был самым теплым в Северном полушарии за последние 150 лет. На фоне существенного роста температуры происходит изменение других характеристик гидрологического цикла. Например, при потеплении вследствие увеличения испарения и влагоемкости атмосферы ожидается рост интенсивности осадков, в том числе экстремальных [7]. При этом в ряде работ показано, что рост интенсивности осадков может происходить гораздо быстрее, чем рост температуры, что связано с интенсификацией конвективных процессов [6]. С другой стороны, в последние годы на основе анализа эмпирических данных выдвинута гипотеза об уменьшении интенсивности осадков при повышении приземной температуры выше определенного порога [4], на что указывают результаты, полученные для отдельных регионов [3, 5].

Целью данной работы является установление особенностей связи экстремальных осадков с температурой в последние десятилетия. В работе использовался архив метеорологических станций ВНИИГМИ-МЦД (meteo.ru), в котором с использованием специальной технологии [2] осадки были разделены на типы: ливневые, обложные, морозящие и комбинированные. Также были проанализированы данные реанализа ERA-Interim. В работе была использована методика, подробно описанная в [4].

Было выделено три типа связи: монотонное увеличение или уменьшение экстремальных осадков при увеличении температуры, а также увеличение осадков, которое сменяется уменьшением при превышении некоторого порогового значения температуры (рис. 1).

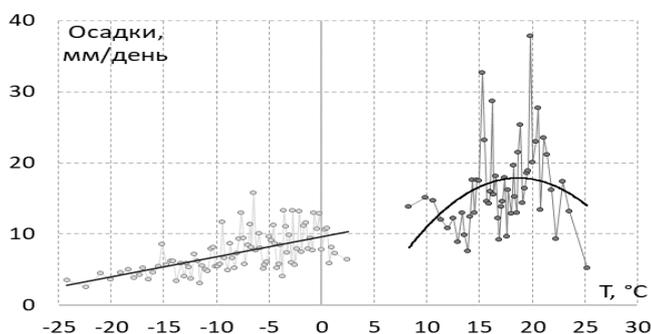


Рисунок 1. Пример аппроксимации между экстремальными осадками и температурой для обложных осадков зимой (светло-серый) и ливневых осадков летом (темно-серый) для станции Нижний Новгород.

На основе данных о суточных суммах осадков было показано, что зимой при высоких температурах наблюдаются более сильные осадки, в то время как летом увеличение интен-

сивности экстремальных осадков прекращается при превышении температурой порогового значения (для Центральной России порог составляет 15–20°C). Такой вывод способен дополнить анализ линейных трендов [1], где для режима осадков получены статистически значимые положительные тренды в зимний сезон, а летом тенденции в основном слабовыраженные и носят неустойчивый характер.

При анализе отдельных типов осадков (рис. 2) получено, что зимой на большинстве метеостанций наблюдается увеличение обложных осадков при росте температуры (рис. 2а). Летом наилучшая согласованность получена для ливневых осадков – при переходе к более высоким температурам наблюдается переход от увеличения осадков к их уменьшению (рис. 2в). Данные реанализа ERA-Interim показали хорошую согласованность с метеорологическими станциями (рис. 2 б, г). Зимой отмечается тенденция к увеличению крупномасштабных осадков при увеличении температуры, в то время как летом конвективные осадки при высоких температурах уменьшаются после превышения порога.

Работа выполнена в рамках проектов РНФ 19-17-00242 и РФФИ 17-05-00561.

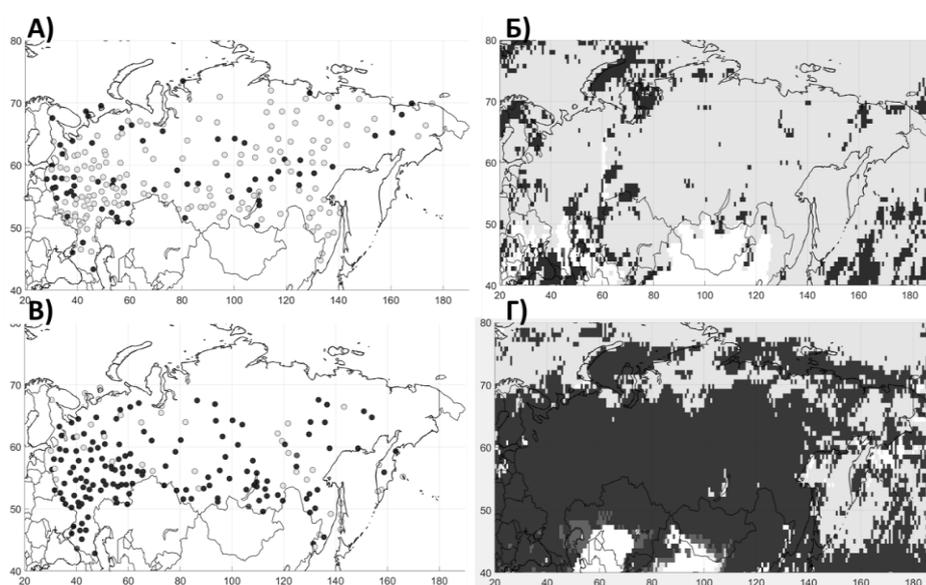


Рисунок 2. Тип связи между осадками и температурой по данным метеостанций (а, в) и ERA-Interim (б, г) для обложных осадков зимой (а, б) и ливневых осадков летом (в, г). Светло-серый цвет – монотонный рост, серый цвет – монотонное уменьшение, темно-серый цвет – уменьшение экстремальных осадков после некоторого порога.

1. Алексеев Г. В. и др. Второй оценочный доклад Росгидромета об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. – Росгидромет, 2014.
2. Chernokulsky, A., et al., "Observed changes in convective and stratiform precipitation over Northern Eurasia during the last decades." *Environmental Research Letters* (2019).
3. Drobinski P., et al. Scaling of precipitation extremes with temperature in the French Mediterranean region: What explains the hook shape? // *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*. – 2016. – Т. 121. – №. 7. – С. 3100-3119.
4. Jones H., Westra S., Sharma A. Observed relationships between extreme sub- daily precipitation, surface temperature, and relative humidity // *Geophysical Research Letters*. – 2010. – Т. 37. – №. 22.
5. Knist S., Goergen K., Simmer C. Evaluation and projected changes of precipitation statistics in convection-permitting WRF climate simulations over Central Europe // *Climate Dynamics*. – 2018. – С. 1-17.
6. Lenderink G., Van Meijgaard E., Increase in hourly precipitation extremes beyond expectations from temperature changes // *Nature Geoscience*. – 2008. – Т. 1. – №. 8. – С. 511.
7. Min S. K. et al. Human contribution to more-intense precipitation extremes // *Nature*. – 2011. – Т. 470. – №. 7334. – С. 378.
7. Semenov V., Bengtsson L. Secular trends in daily precipitation characteristics: Greenhouse gas simulation with a coupled AOGCM // *Climate Dynamics*. – 2002. – Т. 19. – №. 2. – С. 123-140.

ДОЛГОВРЕМЕННАЯ ДИНАМИКА ОБЪЕКТОВ ЦИРКУЛЯЦИИ КАК ОСНОВА ФИЗИКО-СТАТИСТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ РЕГИОНАЛЬНОГО КЛИМАТА

Алимпиева М.А.¹, Кононова Н.К.², Морозова С.В.¹, Полянская Е.А.¹

¹Саратовский государственный университет

²Институт географии РАН (г. Москва)

swetwl@yandex.ru

Основной особенностью современных климатических изменений является глобальный рост температур [5]. Однако, в регионах глобальные тенденции проявляются весьма неоднозначно [3,5]. Поэтому весьма актуальным представляется изучение региональных климатических тенденций с целью оценки будущих климатических изменений в регионах. Этому и посвящены материалы настоящей публикации.

Очевидно, что региональные климатические изменения определяются режимом общей циркуляции атмосферы (ОЦА). Моделирование режимов общей циркуляции атмосферы с использованием гидродинамического подхода на климатических интервалах времени показывает неудовлетворительные результаты. Обычно в таких случаях характеристики регионального климата приближаются к климатической норме, или оказываются сильно завышенными [5]. Одна из трудностей связана с тем, что в моделях очень трудно учесть внутреннюю динамику климатической системы, связанную в первую очередь с особенностями развития синоптических объектов [1].

Авторы настоящей статьи предложили свой подход к прогнозированию долговременных региональных климатических тенденций. Для прогноза ожидаемых тенденций регионального климата авторами выбран физико-статистический подход. По утверждению А.И.Угрюмова [4] данное направление вполне можно считать физико-статистическим моделированием по аналогии с моделированием гидродинамическим. Преимущество физико-статистического подхода заключается в том, что он дает возможность и качественно, и количественно оценить влияние самых разнообразных факторов на поведение атмосферы, и получить физическую интерпретацию обнаруженных связей.

Как уже отмечалось, региональные климатические тенденции определяются, в первую очередь, особенностями развития синоптических процессов. Безусловно, сами синоптические объекты не могут быть использованы при прогнозах на долгие сроки и при климатическом прогнозировании. Поэтому в нашем случае циркуляционными объектами стали средние многолетние структурные элементы общей циркуляции атмосферы. Барические поля, осреднённые на каком-либо промежутке времени, несут информацию об особенностях циркуляции в этом временном интервале – о преобладании тех или иных форм циркуляции (зональных или меридиональных), о распределении аномалий температуры и осадков в эти периоды, о положении зон цикло- и антициклогенеза. Учитывая инерционность процессов в земной климатической системе (ЗКС), возможно охарактеризовать ожидаемые черты регионального климата.

Другим принципиальным отличием в настоящем подходе стало то, что интервалами осреднения стали не стандартно применяемые одинаковые по продолжительности временные промежутки (десятилетия, тридцатилетия, и т.п.), а различающиеся по длительности временные интервалы, связанные с наблюдаемой климатической изменчивостью, названные естественными климатическими периодами состояния земной климатической системы. Принципы их выделения изложены в [6]. Такой подход позволяет выявить основные черты преобразования полей, в то время как использование одинаковых по продолжительности временных отрезков затушевывает особенности преобразования климатических полей и не позволяет определить прогностическую тенденцию их изменения.

Так как актуальным является прогноз не только сезонных климатических изменений, но и изменений на внутрисезонных масштабах времени [2], то схемы перестройки полей со-

ставлены для каждого месяца. В настоящей статье приводятся некоторые результаты для января и июля.

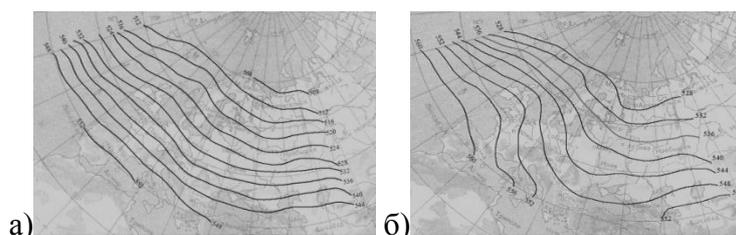


Рис. 1. Среднее многолетнее барическое поле. Январь. а) 1975-1994 гг. – активная фаза волны; б) 1995-2010 гг. – фаза замедления потепления.

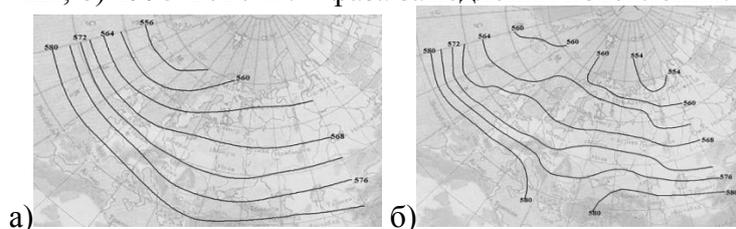


Рис. 2. Среднее многолетнее барическое поле. Июль. а) 1975-1994 гг. – активная фаза волны; б) 1995-2010 гг. – фаза замедления потепления.

На рис. 1 и 2 можно увидеть перестройки барических полей в различные климатические периоды. Зональность течений ОЦА в январе (рис. 1) в активную фазу потепления способствовала поступлению теплых влажных масс Атлантики. В следующий климатический период произошла резкая перестройка барического поля в сторону меридиональности. Учитывая инерционность процессов в ЗКС, можно ожидать в последующие десять – пятнадцать лет преобладание морозных зим в Атлантико-Евразийском секторе полушария. Примерами могут стать холодные зимы 2009–2010 гг., 2012–2013 гг., 2015–2016 гг., 2017–2018 гг. По перестройке барического поля в июле можно заключить, что относительно влажные летние условия на ЕЧР 80-х годов XX века сменились жаркими и засушливыми в начале XXI века. С учетом наметившейся тенденции можно ожидать преобладание жарких летних условий на ЕЧР а ближайшее десятилетие. Примером жарких летних сезонов на ЕЧР могут стать летние условия 2010, 2011, 2014 и 2018 годов. Таким образом, по тенденции перестройки барического поля в естественные климатические периоды возможно охарактеризовать предстоящие климатические условия отдельных регионов на ближайшие один-два десятилетия.

Работа выполнена в рамках Программы фундаментальных исследований Института географии РАН, проект №. 0148-2019-0009.

1. Груза Г.В., Ранькова Э.Я. Наблюдаемые и ожидаемые изменения климата России: температура воздуха. Обнинск: ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД. 2012. 194 с.

2. Киктев Д.б., Толстых М.А., и др. Выпуск детализированных метеорологических прогнозов в рамках деятельности Северо-Евразийского климатического центра (СЕАКЦ) // Тр. ГМЦ. 2017. Вып. 366. С. 14-28.

3. Морозова С.В. Физико-статистический анализ современных климатических изменений в Атлантико-Евразийском секторе зимой (на примере января) // Труды ГМЦ. 2015. Вып. 358. С. 88-98.

4. Угрюмов А.И. Долгосрочные прогнозы погоды. СПб.:Изд-во РГГМУ. 2006. 84 с.

5. Intergovernmental Panel on Climate Change, Climate change 2013: The physical science basis. Cambridge: Cambridge University Press, 2013. 1535 p.

6. Morozova SV et al. Variability of the circulation processes in the Lower Volga Region on the background of global climate trends // IOP Conference Series: Earth and Environmental. 2018. Volume 107.2018.P.1-8.

О ВЛИЯНИИ ЗИМНЕГО АЗИАТСКОГО АНТИЦИКЛОНА НА ДИНАМИКУ ИНДЕКСА СЕВЕРО-АТЛАНТИЧЕСКОГО КОЛЕБАНИЯ

Алимпиева М.А.¹, Кононова Н.К.², Морозова С.В.¹, Полянская Е.А.¹

¹Саратовский государственный университет

²Институт географии РАН (г. Москва)

swetwl@yandex.ru

В настоящее время общую циркуляцию атмосферы рассматривают как единый механизм, состоящий из отдельных циркуляционных структур различного пространственно-временного масштаба. В Северном полушарии функционируют две циркуляционные системы – Северо-Атлантическое и Северо-Тихоокеанское колебания, состоящие каждая из циклонического и антициклонического центров действия атмосферы (ЦДА). Интенсивность этих циркуляционных систем оценивается индексами NAO и NPO соответственно.

Зимний Азиатский антициклон является сезонным барическим образованием, довольно мощным и обширным по площади. Его интенсивность в среднем на 10-15 гПа превышает интенсивность субтропических максимумов. По площади он занимает большую часть Евразии [1]. Безусловно, такое мощное барическое образование не может не оказывать влияния на смежные с ним циркуляционные структуры.

Цель настоящего исследования – рассмотреть влияние зимнего Азиатского антициклона на состояние циркуляционных систем Северной Атлантики и северной части Тихого океана и оценить его влияние на эти циркуляционные системы.

На рис. 1а представлены средние месячные значения давления в центрах зимнего Азиатского антициклона, Исландского минимума и Азорского максимума, на рис. 1б представлен аналогичный график для зимнего Азиатского антициклона, Алеутского минимума и Гавайского максимума. Средние многолетние значения для каждого месяца получены на материалах 1971–2015 гг. Данные об интенсивности изучаемых объектов циркуляции снимались со средних карт, восстановленных по данным реанализов NCEP/NCAR. Визуализация пространственно-координированных данных проводилась программным комплексом MAPINFO, адаптированным к оригинальным значениям.

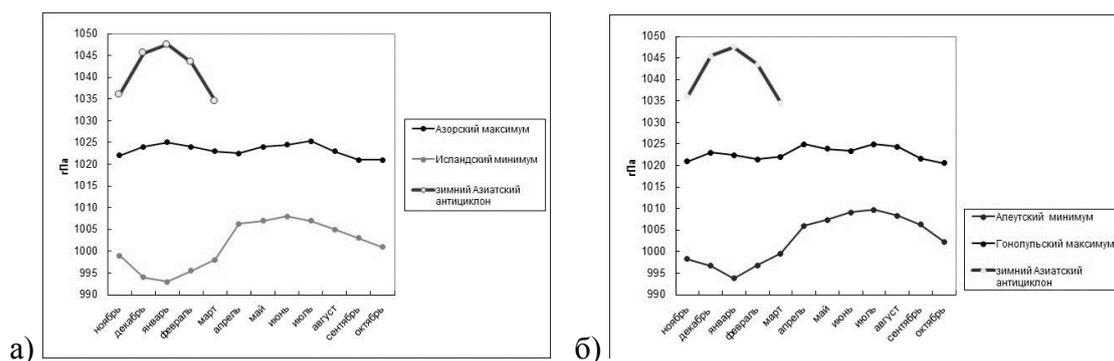


Рис. 1. Средние месячные изменения давления в центрах барических образований

Как видно из рисунков, в теплое время года, когда зимний Азиатский антициклон или не существует, или выражен слабо (месяцы с апреля по сентябрь), изменения давления в двух барических образованиях и Северной Атлантики, и северной части Тихого океана происходят согласованно. Как только зимний Азиатский антициклон набирает силу, наблюдается рассогласованность в изменении давления в Исландском минимуме и Азорском максимуме. То же самое наблюдается в Тихоокеанских центрах действия атмосферы – Алеутском циклоне и Гавайском антициклоне. Таким образом, можно заключить, что зимний Азиатский

антициклон влияет на интенсивность циркуляционных структур и Северной Атлантики, и северной части Тихого океана.

Для оценки влияния зимнего Азиатского антициклона на интенсивность индекса NAO и NPO применен аппарат дисперсионного анализа. В качестве индексов NAO в NPO в настоящем исследовании взяты разности давления в центрах барических образований Северной Атлантики и северной части Тихого океана соответственно.

Суть дисперсионного анализа заключается в сравнении факторной дисперсии (σ_f^2) порождаемой воздействием фактора, и остаточной дисперсии (σ_z^2), обусловленной случайными причинами. Если различие между этими дисперсиями значимо, то фактор оказывает существенное влияние на изучаемую величину X .

В нашем случае интенсивность зимнего Азиатского антициклона является действующим фактором, а изучаемыми величинами (X) – индексы колебаний NAO и NPO. Методика применения дисперсионного анализа приведена в [2, 3]. В соответствии с этими рекомендациями проведены расчеты дисперсий.

Дисперсии находятся соответственно по выражениям:

$$\sigma_f^2 = \frac{S_f}{K_f}, \sigma_z^2 = \frac{S_z}{K_z}, \sigma_x^2 = \frac{S_x}{K_x},$$

где q – число уровней (градаций) исследуемого фактора; N – общее число наблюдений. При этом $K_f = q-1$, $K_z = K_x - K_f$, $K_x = N-1$ – числа степеней свободы.

Суммы квадратов рассчитываются по формулам (1, 2).

$$S_z = \sum x_i^2 - \frac{1}{n} \left(\sum x_i \right)^2; \quad (1)$$

$$S_f = \sum \frac{\sum (x_i)^2}{m_i} - \frac{1}{n} \left(\sum x_i \right)^2; \quad (2)$$

Величина S_z характеризует изменчивость, обусловленную влиянием случайных или неучтенных факторов. Тогда полная изменчивость складывается из изменчивости, порождаемой неучтенными, или случайными, факторами и изучаемым фактором, то есть $S_x = S_f + S_z$. В соответствии с рекомендациями [2, 3] обычно вычисляют суммы отклонений S_x и S_f , а остаточную сумму отклонений находят как $S_z = S_x - S_f$ [2, 3].

Проведенные расчеты показали, что влияние зимнего азиатского антициклона на динамику индекса NAO составило 8,3%, на динамику индекса NPO – 6,1 %. По критерию Фишера такое воздействие оказалось статистически значимым.

Работа выполнена в рамках Программы фундаментальных исследований Института географии РАН, проект № 0148-2019-0009.

1. Гирс А.А. Основы долгосрочных прогнозов погоды. Л.: Гидрометеиздат. 1960. 560 с.
2. Гмурман В.Е. Теория вероятностей и математическая статистика. М.: Высшая школа, 1972. 368 с.
3. Пановский Г.А., Брайер Г.В. Статистические методы в метеорологии. Л.: Гидрометеиздат. 1972. 210 с.

ПРИМЕНЕНИЕ ТРЕХФАЗНОЙ МОДЕЛИ ДИСКРИМИНАНТНОГО АНАЛИЗА ДЛЯ ДОЛГОСРОЧНОГО ПРОГНОЗА ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ЯВЛЕНИЙ

Алимпиева М.А.¹, Кононова Н.К.², Морозова С.В.¹, Полянская Е.А.¹

¹ Саратовский государственный университет

² Институт географии РАН (г. Москва)

swetwl@yandex.ru

Применение в практике долгосрочного прогнозирования погоды аппарата дискриминантного анализа началось примерно с 70-х годов прошлого века. Первыми работами, выполненными в этом плане, стали работы М.Х.Байдала [3]. Впоследствии аппарат линейных дискриминантных функций использовался Л.В.Адриановой [1], Г.Н.Чичасовым [6] для прогноза аномалий температурно-влажностного режима и сезонных гидрометеорологических явлений.

Укажем, что в ранее выполненных работах [1, 3, 6] проводилось разделение двух групп явлений – засуха / достаточное увлажнение, аномалия температуры (осадков) выше / ниже нормы и т.п. Однако, часто возникает необходимость в разделении не двух, а трех градаций прогнозируемой величины. Например, аномалия температуры (осадков) в градациях «выше нормы», «норма», «ниже нормы»; срок наступления явления - ранний, поздний, в пределах климатической нормы. Авторами настоящей статьи применена модель дискриминантного анализа для разделения трех групп явлений. Это прогнозирование типа весны [2] и прогнозирование срока наступления даты устойчивого перехода средней суточной температуры через 10°C [4].

Однако, не менее актуальным является прогноз типа даты перехода через 0°C. Отметим, что эта дата особенно важна для аграриев, поскольку именно она по большей части определяет условия снеготаяния и накопление продуктивной влаги в почве к началу весенних полевых работ, а также развитие растений в начальные, самые ответственные для формирования урожая, фазы вегетации. Кроме того, сроки наступления этой даты отличаются наибольшей изменчивостью от остальных.

Решение поставленной задачи базируется на теоретических разработках о дальних (teleconnection) и асинхронных связях циркуляционных систем с элементами погоды в различных географических районах. При разработке физико-статистической модели в качестве предикторов использовалась пространственно-временная локализация двух центров действия атмосферы (ЦДА) – Исландского минимума и зимнего Азиатского антициклона. Характеристики (координаты центра и давление в его центре) выбранных ЦДА снимались со средних карт, восстановленных по данным реанализов NCEP/NCAR. Визуализация пространственно-координированных данных проводилась программным комплексом MAPINFO, адаптированным к оригинальным значениям.

Выявление прогностических зависимостей проводилось с помощью прикладного пакета программ «STATISTICA». Применялась процедура последовательного включения предикторов, количество переменных определялось по статистическим оценкам набора параметров (R^2 , частная λ , F , $p\text{-level}_{max}$).

Ретроспективные прогнозы составлялись на материалах 1971–2010 гг., оценка на независимом материале (перспективные прогнозы) проводилась по данным 2011–2018 гг.

При выявлении прогностических зависимостей проводилась серия независимых статистических экспериментов, на основании которых отобраны четыре предиктора, показавшие наибольшую информативность и выбран двухмесячный интервал как оптимальный промежуток заблаговременности прогноза. В табл. 1 представлены значения коэффициентов разделяющих функций и физические характеристики предикторов.

Таблица 1. Значения коэффициентов разделяющих функций и характеристика предиктора.

Предиктор	Значения коэффициентов		Физическая характеристика предиктора
	L_1	L_2	
x_1	0.21	0.19	аномалия давления ИМ в январе
x_2	0.01	0.16	аномалия долготы СМ в октябре
x_3	-0.31	-0.01	аномалия широты ИМ в ноябре
x_4	-0.07	0.06	аномалия долготы ИМ в ноябре
Константа	0.33	-0.35	–

По стандартизованным уравнениям получены значения ЛДФ, которые представлялись на графике. Визуализация прогностической схемы приведена на рисунке 1.

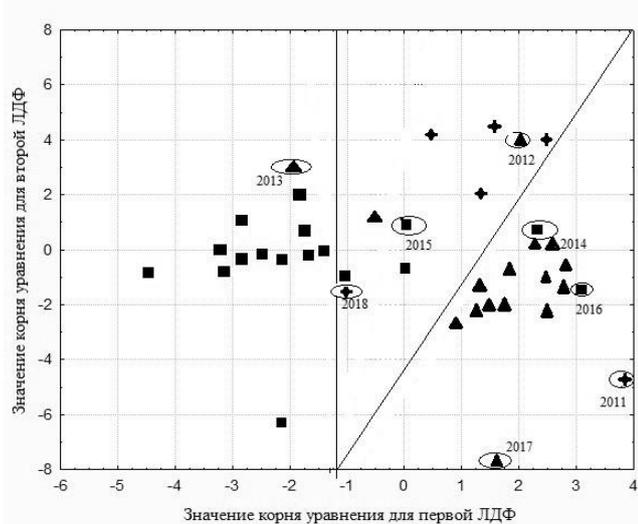


Рис 1. Прогностический график для определения типа даты перехода (ДП);

■ – ранняя ДП, ▲ – нормальная ДП, ◆ – поздняя ДП.

Оценка оправдываемости проводилась по трехмерным матрицам сопряженности [5]. Доля оправдавшихся прогнозов составила 87,5% по зависимой выборке и 77% с учетом независимых испытаний. Чувствительность модели к редкому явлению оказалась равной 0,52. Выигрыш методического прогноза по отношению к климатическому составил 1,85.

Работа выполнена в рамках Программы фундаментальных исследований Института географии РАН, проект №. 0148-2019-0009.

1. Адрианова Л.В., Голдыбина (Морозова) С.В., Скоробогатова Э.Ф. О возможности прогноза сухих и нормально увлажненных сезонов вегетации яровой пшеницы в левобережье Саратовской области // Вопросы климата и погоды Нижнего Поволжья. 1989. Вып. 10 (17). С. 11-15.

2. Алимбиева М.А., Морозова С.В. Долгосрочный прогноз типов весен на примере Саратовской области // Метеорология и гидрология. 2019, № 7. С. 92 – 100.

3. Байдал М.Х., Неушкин А.И. Макроциркуляционные факторы и прогноз засух в основных сельскохозяйственных районах страны // Труды ВНИИГМИ-МЦД. 1979. Вып.59. 140 с.

4. Морозова С.В., Алимбиева М.А. Физико-статистическая модель долгосрочного прогноза весенних дат перехода средней суточной температуры воздуха через 10 °С // Гидрометеорологические исследования и прогнозы. 2018. № 3. С. 46 – 61.

5. Хандожко Л.Т. Экономическая метеорология С-Пб.: Гидрометеиздат. 2005. 490 с.

6. Чичасов Г.Н. Технология долгосрочных прогнозов погоды. С-Пб.: Гидрометеиздат. 1991. 304 с.

СРАВНЕНИЕ НАЗЕМНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ КОНЦЕНТРАЦИЙ МЕТАНА В ЗАПАДНОЙ СИБИРИ С ДАННЫМИ МАСС/CAMS

*Антохина О.Ю., Антохин П.Н., Аришинов М.Ю., Белан Б.Д., Белан С.Б., Давыдов Д.К.,
Симоненков Д.В., Фофонов А.В., Черников С.А.*

Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН (г. Томск)
Olgayumarchenko@gmail.com

Метан (CH_4) является важным парниковым газом, и его концентрация в атмосфере почти утроилась с доиндустриальных времен. Скорость роста метана в атмосфере определяется балансом между поверхностными эмиссиями и фотохимическим разрушением при реакции с гидроксил радикалом [1, 2]. Северная часть Евразии является важным источником метана из-за наличия обширных болот и частых лесных пожаров. Оценка мощности обоих этих источников необходима для составления глобального баланса метана. Для оценки мощности источников используют данные измерений концентраций метана, однако, измерения концентраций проводятся лишь в некоторых районах. В представленной работе мы ставили целью выбрать наиболее оптимальный набор данных (результатов моделирования) с точки зрения его наилучшего согласия с данными измерений CH_4 для территории Западной Сибири. Задача включала оценки ошибок воспроизведения измеренной концентрации для каждого исследуемого набора модельных данных. В качестве архивов с результатами моделирования использованы, данные CAMS (Copernicus Atmosphere Monitoring Service) и МАСС III (II) (Monitoring Atmospheric Composition and Climate) представленные в свободном доступе на сайте (<http://apps.ecmwf.int>) [3]. В качестве набора данных наземных измерений для сравнения использовались данные мачтовых измерений концентрации метана проекта JR-STATION [4]. Данные представляют собой обработанные массивы измерений с разрешением один час. Расчеты проводились для 7 пунктов для 2004-2017 гг.

Процедура сравнения результатов состояла из нескольких этапов. На первом этапе из каждого набора данных выбирались данные для каждой станции и рассчитывались статистические характеристики (описательная статистика) и коэффициенты корреляции для каждого измерительно уровня (т.к. измерения на постах мониторинга JR-STATION производятся на нескольких высотах). На следующем этапе полученный массив данных разделялся на «зимний» (с ноября по февраль, включительно) и «летний» (с апреля по сентябрь, включительно) периоды. Далее расчеты проводились для каждого периода отдельно. Для сравнения результатов использовалась диаграмма Тейлора, значения среднеквадратичного отклонения (СКО) для каждого набора данных, нормировались на величину СКО данных измерений. Для каждой станции было составлено три диаграммы, для всего набора данных, летнего и зимнего периодов.

На рис. 1 показан пример исследуемых диаграмм для станции Карасево (для этой станции получено наилучшее согласие измеренных и модельных концентраций). Для станции Карасево отмечены значения корреляции 0.5–0.6 для всего набора данных (рис. 1а). Схожие коэффициенты отмечены для всего летнего периода (рис. 1б). Для зимнего периода значение корреляции меньше. Наименьшее значение 0.25 было отмечено для МАСС v10_an для остальных данных МАСС – 0.3. Для данных CAMS значение коэффициента корреляции было в диапазоне 0.5–0.6. Величина восстановленной дисперсии составляла 75% для CAMS v16r2 и v17r1. Для остальных данных дисперсия восстанавливалась полностью для всего набора данных (рис. 1а).

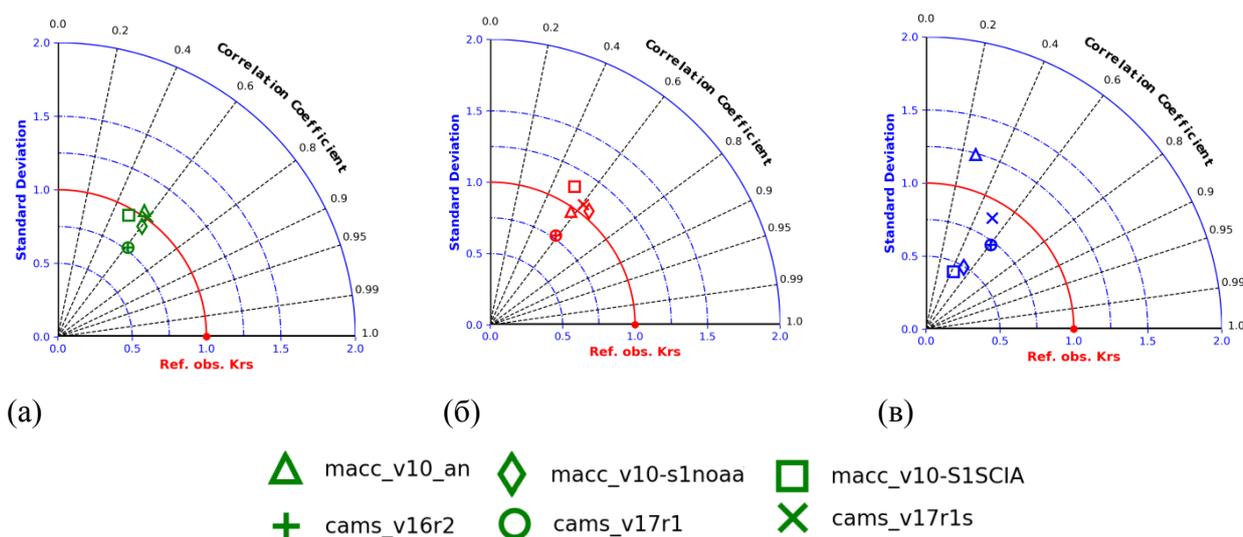


Рисунок 1. Сравнение результатов моделирования МАСС и САМС с данными измерений, выполненных на станции Карасевое: а) весь массив данных, б) летний период, в) зимний период.

В целом следует отметить, что летние измеренные концентрации CH_4 гораздо лучше совпадают с полученными в модели с помощью усвоения, чем зимние концентрации. Одной из причин этой особенности является различия основных механизмов формирования зимних и летних концентраций метана. Важным моментом также на наш взгляд является различия качества воспроизведения концентрации CH_4 для северных и южных станций. Для станций, расположенных южнее (Азово, Березоречка, Карасевое, Демьянское) измеренные и модельные концентрации совпадали лучше, чем для северных станций (Игрим, Ноябрьск). Кроме того, необходимо отметить, что оценки, полученные для отдельных станций в отдельные зимние и летние сезоны, могут существенно различаться.

Работа выполнена при поддержке Гранта РФФИ № 17-05-00119, 17-05-00374. Измерения выполнены в рамках государственного задания ААА-А16-116051110136-4.

1. Bousquet P, Ciais P, Miller J B, Dlugokencky E J, Hauglustaine D A, Prigent C, Werf G R V D, Peylin P, Brunke E-G, Carouge C, Langenfelds R L, Lathière J, Papa F, Ramonet M, Schmidt M, Steele L P, Tyler S C and White J 2006 Contribution of anthropogenic and natural sources to atmospheric methane variability *Nature* 443 439–43.

2. Nisbet E G, Dlugokencky E J and Bousquet P 2014 Methane on the Rise--Again *Science* 343 493–5.

3. Bergamaschi, P., Houweling, S., Segers, A., Krol, M., Frankenberg, C., Scheepmaker, R. A., Dlugokencky, E., Wofsy, S. C., Kort, E. A., Sweeney, C., Schuck, T., Brenninkmeijer, C., Chen, H., Beck, V., and Gerbig, C.: Atmospheric CH_4 in the first decade of the 21st century: inverse modeling analysis using SCIAMACHY satellite retrievals and NOAA surface measurements, *J. Geophys. Res.-Atmos.*, 118, 7350–7369, <https://doi.org/10.1002/jgrd.50480>, 2013.

4. Sasakawa, M., K. Shimoyama, T. Machida, N. Tsuda, H. Suto, M. Arshinov, D. Davydov, A. Fofonov, O. Krasnov, T. Saeki, Y. Koyama, and S. Maksyutov, Continuous measurements of methane from a tower network over Siberia, *Tellus* 62B, 403–416, 2010.

ОЦЕНКА КОМФОРТНОСТИ ПРОЖИВАНИЯ НА ТЕРРИТОРИИ ИРКУТСКОЙ ОБЛАСТИ В НАЧАЛЕ XXI ВЕКА

Астафьева Н.В., Лощенко К.А.

Иркутский государственный университет (г. Иркутск)

nadezhdaastafeva@yandex.ru

Биоклимат – важный природный и климатический ресурс, от состояния которого во многом зависят условия комфортности проживания и здоровье человека [1, 2]. Территория Иркутской области неоднородна в орографическом отношении, а частая смена циркуляционных и синоптических процессов отражается в высокой изменчивости атмосферного давления и температуры воздуха. В условиях меняющегося климата для оценки комфортности проживания человека необходимо проводить комплексный анализ воздействия на организм человека метеорологических параметров, таких как температура воздуха, скорость ветра, относительная влажность, учитывать изменения атмосферного давления, прохождение атмосферных фронтов и связанных с ними процессов облако- и осадкообразования.

Выполнен анализ пространственно-временной изменчивости биоклиматических показателей на территории Иркутской области по данным наблюдений 26 метеорологических станций, расположенных в разных физико-географических районах за 1997-2017 гг. Эквивалентно-эффективная температура (ЭЭТ) учитывает комплексное воздействие на организм человека таких метеорологических величин, как температура, влажность воздуха и скорость ветра. По данному показателю на территории Иркутской области в теплый период года (IV-IX) повсеместно отмечаются «умеренно прохладные условия». В холодный период года (X-III), за исключением южной части озера Байкал и горных районов Восточного Саяна, условия проживания, несмотря на некоторое повышение средних годовых температур, оцениваются как «холодные». На метеорологических станциях Усть-Орда, Червянка, Токма, Мамакан, Перевоз, Киренск, Ербогачен, Непа и Большое Голоустное существует «угроза обморожения».

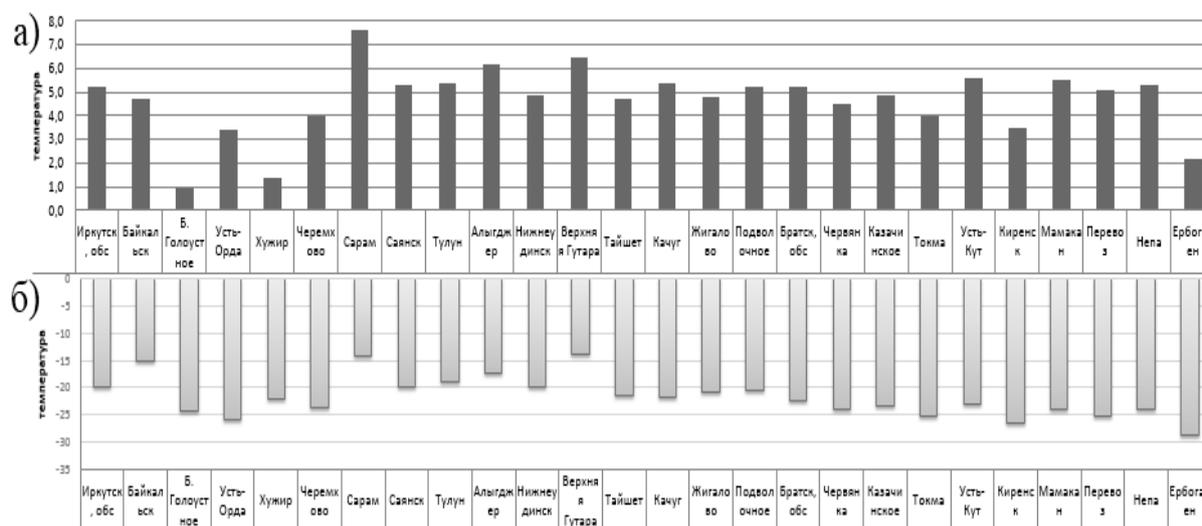


Рисунок 1. Средние значения эквивалентно-эффективной температуры (°C) на станциях Иркутской области в теплый (IX-IV) (а) и в холодный (V-III) (б) периоды за 1997-2017 гг.

Отмечено, что по значениям ЭЭТ на территории Иркутской области самым благоприятным для проживания человека летним месяцем является июль, но по средним значениям биологически-активной температуры, которая дополнительно учитывает влияние на организм солнечной радиации, июль, напротив, относится к неблагоприятным месяцам. Таким

образом, существующие биоклиматические показатели дали противоположные оценки условий проживания на территории Иркутской области в летние месяцы года.

Значения индекса суровости зим по Бодману, который рассчитывался на основе средних месячных значений температуры воздуха и скорости ветра, в зимние месяцы варьировал от 1,8 в феврале на станции В. Гутара («малосуровая зима») до 3,9 в январе на станции Бол. Голоустное («суровая зима»). В целом, на всех станциях, за исключением Бол. Голоустное и Хужир, зимы в 2007-2017 гг. относятся к категории «умеренно суровые». На байкальских станциях Бол. Голоустное и Хужир за счет более сильного ветра зимы в настоящий период относятся к категории «суровые зимы».

Чаще всего наибольшие изменения межсуточных вариаций температуры воздуха, которые могут оказывать негативное влияние, особенно на метеочувствительных людей, в зимние месяцы были обусловлены крупномасштабной перестройкой высотного барического поля, преимущественно при прохождении осей высотных ложбин и гребней. В остальные календарные сезоны при тех синоптических ситуациях, когда прохождение холодного атмосферного фронта сопровождалось на высотах смещением оси ложбины глубокого высотного циклона. Наибольшая изменчивость атмосферных осадков отмечалась, когда после их продолжительного отсутствия наблюдалось прохождение оси высотной фронтальной зоны и струйного течения на высотах средней и верхней тропосферы, в осенние месяцы также при влиянии центра высокого холодного циклона.

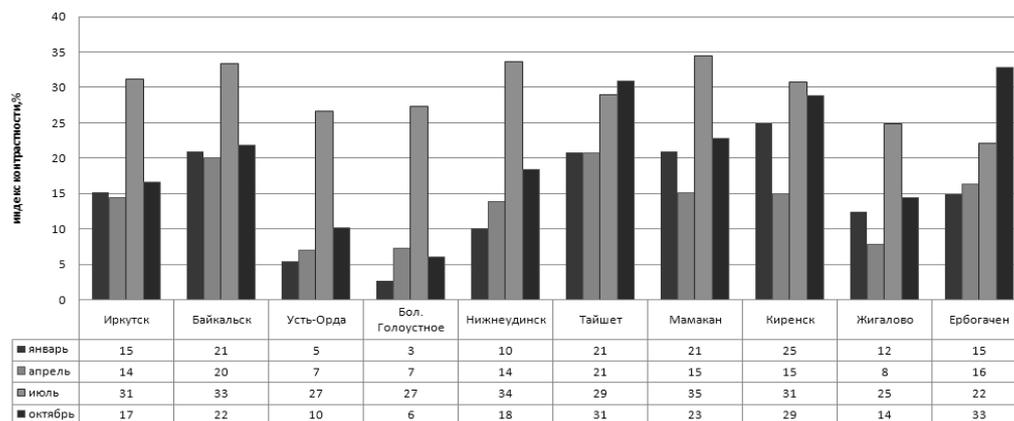


Рисунок 2. Средние значения индекса контрастности по атмосферным осадкам на станциях Иркутской области в 1997–2017 гг.

В целом, в последние десятилетия условия проживания на территории Иркутской области зимой и летом становятся менее комфортными, поскольку зимой понижаются эффективные и эквивалентно-эффективные температуры, и увеличивается по значениям индекс суровости зим. Летом, при повышении эффективных температур погодные условия становятся также менее комфортными для самочувствия человека. Полученные выводы являются новыми и представляют интерес для различных сфер деятельности человека на территории Иркутской области.

1. Деркачева Л.Н. Методические подходы к интегральному анализу климатических условий для рекреационных целей / География и природные ресурсы. — 2000. — № 4. — С. 124-130.

2. Русанов В.И. Методы исследования климата для медицинских целей. Томск: Изд-во ТГУ, 1973. - 191 с.

ПОТЕПЛЕНИЕ СЕРЕДИНЫ XX ВЕКА: ОСОБЕННОСТИ И МЕХАНИЗМЫ

Бокучава Д.Д.^{1,2}, Семенов В.А.^{1,2}

¹ Институт географии РАН (г. Москва)

² Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН (г. Москва)
d.bokuchava@gmail.com, vasesmenov@ifaran.ru

Рост глобальной приземной температуры в период инструментальных наблюдений с начала XX века не был монотонным и характеризовался двумя периодами потепления – потеплением в середине XX века и современным потеплением, разделенных периодом понижения глобальной температуры. Потепление середины XX века (ПСДВ) достигло своего максимума в 1940–1945 гг. [1], при этом темпы глобального потепления сравнимы с современным периодом и составили 0.47°C и 0.48°C за 30-летние периоды 1916–1945 гг. и 1962–1991 гг. соответственно (рис. 1).

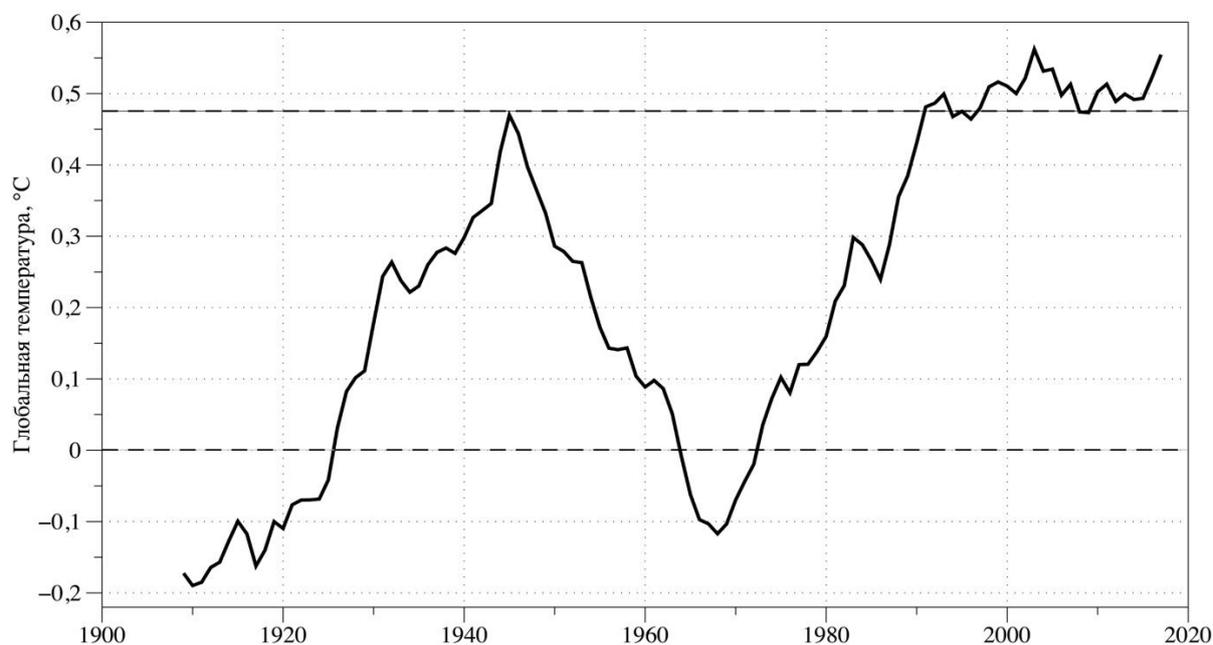


Рисунок 1. 30-летние среднегодовые тренды °C/30 лет аномалий приповерхностной температуры воздуха (°C) в период 1900–2015 гг. по данным наблюдений Berkley

Наблюдаемое потепление в середине XX века в полярных широтах СП сравнимо с современным потеплением с точки зрения масштаба, но пространственно-временные характеристики и механизмы этой климатической аномалии остаются по-прежнему предметом дискуссии [2]. Главный вопрос состоит в оценке вклада внешнего естественного и антропогенного воздействия и внутренней изменчивости.

Временные ряды аномалий температуры устойчиво коррелируют с периодическими колебаниями солнечной активности различной продолжительности по данным, основанных на различных реконструкциях (рис. 2), но основной проблемой этой гипотезы является краткосрочность данных прямого спутникового мониторинга (с 1978 г.), а также значительная неопределенность, которую содержат прокси-данные.

Фактор вулканической активности также может вносить вклад в климатическую аномалию середины века, однако отсутствие существенных извержений в середине XX века даже совместно с усилением солнечной радиации недостаточно для объяснения потепления в этот период.

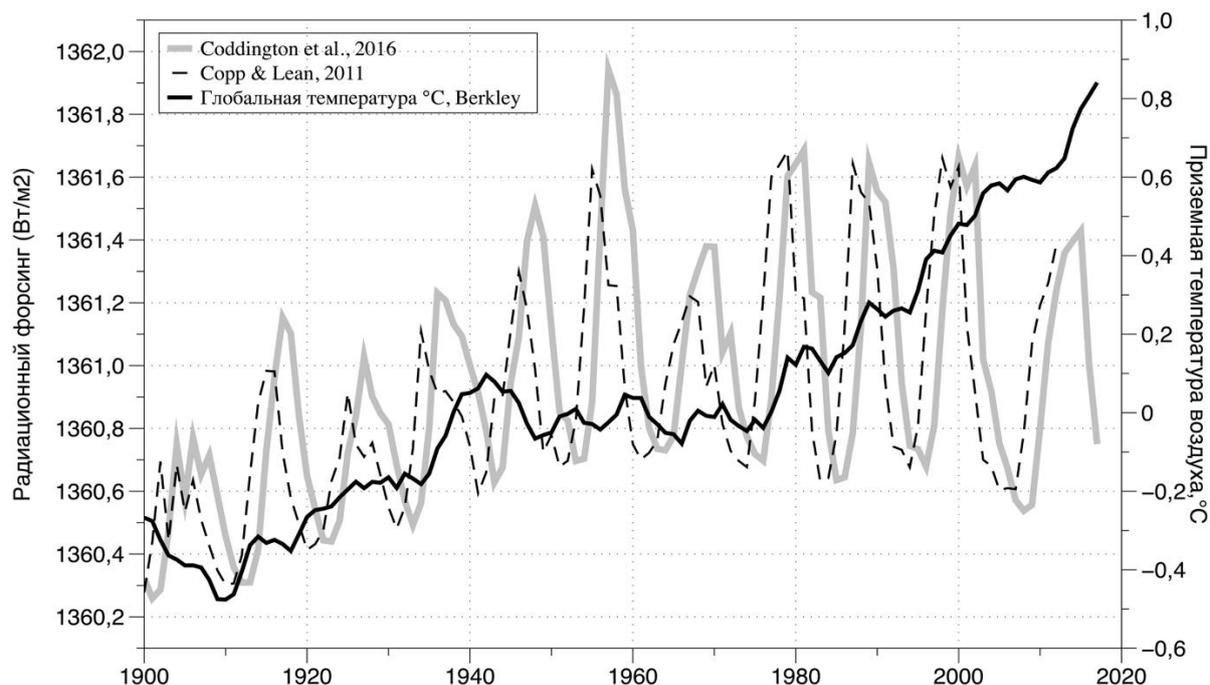


Рисунок 2. Изменения солнечной радиации в течение XX столетия по данным различных реконструкций

Потепление в течение XX века, включая ПСДВ, также могло быть вызвано внешними антропогенными факторами, например, увеличением количества парниковых газов, однако роль этого фактора не может являться доминирующей для середины века, так как интенсивный рост концентраций ПГ начался уже после 1940-х гг. [3]. Отклонения от устойчивого процесса потепления могут ассоциироваться в том числе с антропогенными аэрозолями [4], степень влияния которых наименее определена в силу компенсирующего отклика в результате прямого и косвенного эффектов воздействия аэрозольных частиц на климат.

Внутренняя изменчивость – один из наиболее вероятных механизмов, который объясняет значительную часть ПСДВ. Однако, как единственный фактор, внутренние колебания системы океан-атмосфера может объяснить всю амплитуду изменений температуры в середине века лишь при дополнении факторами внешнего естественного и антропогенного воздействия.

Понимание механизмов периода ПСДВ и последующего похолодания является ключом к определению относительного вклада внутренней естественной изменчивости и отклика на внешние воздействия в глобальные и региональные изменения климата, в том числе в современный период.

1. Груза Г. В., Ранькова Э. Я. Наблюдаемые и ожидаемые изменения климата России: температура воздуха //Обнинск: ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД». – 2012. – Т. 194.
2. Hegerl G. C. et al. The early 20th century warming: Anomalies, causes, and consequences //Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change. – 2018. – Т. 9. – №. 4. – С. e522.
3. MacFarling Meure C. et al. Law Dome CO₂, CH₄ and N₂O ice core records extended to 2000 years BP //Geophysical Research Letters. – 2006. – Т. 33. – №. 14.
4. Booth B. B. B. et al. Aerosols implicated as a prime driver of twentieth-century North Atlantic climate variability //Nature. – 2012. – Т. 484. – №. 7393. – С. 228.

ОЦЕНКА ЗОН ОБЛЕДЕНЕНИЯ ВОЗДУШНЫХ СУДОВ В РАЙОНЕ АЭРОДРОМА ТОМСК

Болтушкина Е.М., Волкова М.А., Кужевская И.В.

Томский государственный университет (г. Томск)

boltushkina16@mail.ru, mv2101@mail.ru

Обледенение воздушного судна (ВС) является одним из наиболее опасных явлений для авиации, при котором может происходить снижение скорости полета, потеря подъемной силы, и, в некоторых случаях, полного контроля над ВС. Все это может привести к авиационным происшествиям, в том числе с человеческими жертвами [1].

Климатические и погодные условия юга Западной Сибири (сочетания температуры и влажности воздуха, облачности и переохлажденных осадков) способствуют высокой вероятности возникновения обледенения в пограничном слое атмосферы. В этой связи изучение особенностей обледенения воздушных судов и разработка методов их диагноза и прогноза является актуальной задачей для обеспечения безопасного взлета и посадки на аэродромах Томской области. В рамках решения этой задачи в Томском государственном университете разработан и апробирован алгоритм прогноза обледенения с заблаговременностью до 36 часов на основе данных гидродинамического моделирования [2–4]. С целью увеличения успешности использования представленных разработок и дальнейшего развития методических основ диагноза и прогноза обледенения была проведена оценка повторяемости случаев обледенения, метеорологических и синоптических условий их возникновения, рассмотрены возможности спутниковой информации для обнаружения зон обледенения в районе международного аэропорта Томск.

В работе были использованы данные бортовой погоды (PIREPs) в районе аэродрома Томск за период с 2011 по 2018 гг., данные о фактической погоде на аэродроме (сводки METAR). Синоптический анализ проведен с использованием приземных синоптических карт разного масштаба. Для оценки пространственно-временной структуры зон обледенения с использованием спутникового зондирования привлекались данные спектрорадиометров MODIS и продукт второго уровня ATML2, который содержит наборы комбинаций спектральных каналов, отражающих значения ключевых параметров облачности, в частности интегральное содержание воды в облаке. Работа со спутниковыми изображениями проводилась с использованием программного обеспечения VISAT (<https://earth.esa.int/web/sentinel/-/beam>) на платформе BEAM, которое позволяет визуализировать, проводить анализ и обрабатывать различные форматы растровых данных дистанционного зондирования, в том числе HDF-файлы, предоставляемые системой MODIS. Для последующей трехмерной пространственной оценки обледенения были применены профили температуры и удельной влажности радиометров ATOVS, обработанные с помощью авторских алгоритмов, реализованных в MATLAB для отдельно выбранных случаев. Из 42 возможных уровней вдоль профиля зондирования использованы 10 нижних уровней от поверхности земли до высоты 500 гПа в узлах сетки с разрешением $1.25^\circ \times 1.25^\circ$.

За период 2011–2018 гг. по данным бортовой погоды было зафиксировано 315 дней/392 случая с обледенением. Наибольшее число случаев наблюдалось с октября по декабрь – в среднем по 6–7 дней в месяц, с максимальным количеством в декабре 2015 года (14 дней). Чаще всего отмечалось обледенение умеренной (52%) и слабой (42%) интенсивности. Оценка распределения случаев с обледенением в зависимости от толщины слоя и его нижней границы, показала, что более чем в половине случаев отмечались слои толщиной до 1000 м, лишь в одной четверти она превышала 1500 м, в отдельных случаях достигала более 3500 м. Более чем в 75% случаев по данным PIREPs нижняя граница слоя фиксировалась от земли до 1500 м, хотя в некоторых случаях обледенение начиналось от 3 км и более. Анализ форм облаков при наличии обледенения разной интенсивности показал, что сильное обледенение более чем в половине случаев (63%) наблюдалось при наличии кучево-дождевой облачности,

21% случаев – при фронтальной слоисто-дождевой облачности (Ns). Обледенение в большинстве случаев (62%) сопровождалось различными видами атмосферных явлений, преимущественно осадками (снег, ливневый снег, дождь, ливневый дождь, морось, переохлажденная морось, снежные зёрна), а также переохлажденным туманом и дымкой. Осадки в 75% случаев выпадали в виде ливневых снега или дождя. Обзор синоптических процессов, способствующих формированию зон с обледенением, показал, что около 65% случаев обледенения разной интенсивности фиксировалось при прохождении атмосферных фронтов, и 35% – при внутримассовых процессах.

Для определения пространственной локализации полей облачности с наблюдавшимися и потенциальными зонами обледенения и анализа микрофизики облаков создавалось цветосинтезированное изображение по данным спутникового продукта MOD021KM. Синтезирование изображения для анализа микрофизики облаков в каналах 0,8:3,9:11,03 мкм позволяет распознавать сверхохлажденные капельные облака и обеспечивает хороший цветовой контраст между облаками с малыми каплями воды и снегом на земной поверхности. Канал 0.8 мкм отражает оптическую плотность облаков. На длине волны 3.9 мкм капли воды отражают больше солнечной радиации, чем кристаллы льда, т.е. сигнал сильно зависит от фазы облаков и размера частиц (большие капли воды или кристаллы льда отражают меньше солнечной радиации, чем малые капли воды или кристаллы льда). Температура земной поверхности и верхней границы облаков содержится в канале 11.03 мкм. Использование данных зондирования (ATOVS и др.) дает возможность восстанавливать профили температуры и влагосодержания во всей толще тропосферы, которые затем можно использовать для сверхкраткосрочного прогноза зон обледенения с использованием различных физико-статистических закономерностей (например, метода К. Годске), а также расчета интенсивности обледенения [5].

Результаты работы могут быть использованы для развития сверхкраткосрочного прогнозирования и наукастинга опасных явлений для территории Западной Сибири.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант 18-45-700010 p_a).

1. Авиационные происшествия и инциденты в 2012–2018 гг. URL: <http://www.aviamettelecom.ru/> (дата обращения: 17.05.2019).

2. Sitnikov G.I., Starchenko A.V., Terenteva M.V., Barashkova N.K., Volkova M.A., Kuzhevskaya I.V., Kizhner L.I. Forecast of extreme weather conditions that promote aircraft icing during take-off or landing // Proc. of SPIE, 2015. Vol. 9680, 96806T.

3. Volkova M.A., Starchenko A.V., Kuzhevskaya I.V., Bart A.A., Kizhner L.I., Barashkova N.K. Forecast of icing zones using possibilities of hydrodynamic simulation for the atmospheric boundary layer // Proc. of SPIE, 2016. Vol. 10035. P. 1–7.

4. Старченко А.В., Кужевская И.В., Кижнер Л.И., Барашкова Н.К., Волкова М.А., Барт А.А. Оценка успешности численного прогноза элементов погоды по мезомасштабной модели атмосферы высокого разрешения TSUNM3 // Оптика атмосферы и океана Т. 32, 2019. № 1. С.57–61. DOI: 10.15372/AOO20190108.

5. Руководство по прогнозированию метеорологических условий для авиации. Под. ред. К.Г.Абрамович, А.А. Васильева. Л.: Гидрометеиздат. 1985. 301 с.

ВКЛАД МОРФОМЕТРИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК РЕЛЬЕФА В ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННУЮ НЕОДНОРОДНОСТЬ МИКРОКЛИМАТИЧЕСКОГО РЕЖИМА ТЕРРИТОРИИ (НА ПРИМЕРЕ ТУНКИНСКОЙ ВЕТВИ КОТЛОВИН)

Василенко О.В.¹, Воронай Н.Н.^{1,2}, Черкашина А.А.¹

¹ Институт географии им. В.Б. Сочавы СО РАН (г. Иркутск)

² Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН (г. Томск)
oksa_na85@mail.ru

Тункинская рифтовая система впадин берет начало от западной оконечности Южнобайкальской впадины и вытянута в субширотном направлении на запад. В этом же направлении происходит постепенное нарастание высот. Территория отличается высокой контрастностью геологических, геоморфологических, климатических, фитоценологических и почвенных условий, что создает уникальное ландшафтное разнообразие как между различными котловинами, так и в пределах каждой отдельно взятой. Изучение климатических характеристик проводилось с использованием катенарного подхода. Катены (почвенно-геоморфологические профили) закладывались с учетом наиболее полного охвата почвенного и ландшафтного разнообразия территории межгорных котловин Тункинской системы. Рассматривались пять почвенно-геоморфологических профилей: четыре в субмеридиональном направлении на северных (хр. Тункинские гольцы) и южных (хр. Хамар-Дабан) бортах Мондинской и Тункинской впадин, один профиль в субширотном направлении с Еловского отрога к заболоченному днищу котловины. На каждой точке проводилось описание ландшафта, закладка почвенного разреза, его описание, отбор проб для последующих лабораторных анализов. Для мониторинга температурного режима почвы (на глубине 40 см) и воздуха (на высоте 2 м) использованы регистраторы DS1922, запрограммированные на измерение температуры окружающей среды 8 раз в сутки, синхронно с измерениями на метеорологических станциях.

Климатические характеристики субширотного профиля имеют более однородную пространственную структуру по сравнению с субмеридиональными и характеризуют климат центральной части котловины. На распределение характеристик температуры воздуха (средние, максимальные, минимальные) по склонам влияет высотная поясность и наличие/отсутствие растительности (облесенные территории характеризуются меньшими амплитудами температуры). Более пологие и более облесенные северные склоны характеризуются меньшими контрастами температуры воздуха в течение года, чем южные. Также необходимо отметить различие между двумя рассматриваемыми котловинами. В более замкнутой, высоко расположенной и меньшей по площади Мондинской котловине теплый период наступает в более поздние сроки и характеризуется меньшими значениями средней температуры воздуха. Влияние котловинного рельефа на климатические характеристики нагляднее проявляется в холодный период года, когда над территорией устанавливается Сибирский антициклон. Температурный режим почвы зависит от большего количества факторов, чем температурный режим воздуха. Наряду с влиянием высотной поясности и растительности необходимо учитывать характеристики почвы (тип, гранулометрический состав, влажность и др.). В отличие от температуры воздуха, максимальные и минимальные в годовом ходе температуры почвы наблюдаются не в июле и январе, а в августе и феврале, соответственно. С увеличением высоты годовые экстремумы уменьшаются по модулю, в связи с чем уменьшается и годовая амплитуда температуры почвы. Основным фактором таких различий температурного режима является изменение с высотой напочвенного растительного покрова – от старой залежи до листовеннично-кедрового леса с ерником, багульников и бруснично-зеленомошным покровом в верхней части северного склона.

Плотный моховой покров на северном склоне хр.Хамар-Дабан является теплоизолятором, препятствующим как прогреву, так и охлаждению почвы. В отличие от открытых площадок, здесь отсутствуют суточные колебания температуры, а максимальные и минимальные в годовом ходе температуры почвы могут держаться в течение нескольких суток.

ИЗОТОПНЫЙ СОСТАВ АТМОСФЕРНЫХ ОСАДКОВ Г. ТОМСКА

Волков Ю.В., Калашиникова Д.А., Крайнюков А., Симонова Г.В.

Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН (г. Томск)

x260694@mail.ru

Состав стабильных изотопов атмосферной влаги является источником комплексной информации о процессах гидрологического цикла, позволяет корректировать параметры моделей общей циркуляции атмосферы и крайне необходим для палеоклиматических и палеогеокриологических реконструкций [1]. Изменение изотопных отношений $\delta^{18}\text{O} \div \delta\text{D}$ в выпадающих атмосферных осадках позволяет определить путь поступления влаги в изучаемый регион. По отклонению диаграммы изотопных отношений $\delta^{18}\text{O} \div \delta\text{D}$ от глобальной линии метеорных вод (ГЛМВ – $\delta\text{D} = 8 \times \delta^{18}\text{O} + 10$) [6], можно оценить процессы изотопного фракционирования, которые приводят к тому, что соотношение $\delta^{18}\text{O} \div \delta\text{D}$ в этих осадках может быть описано своей локальной линией метеорных вод (ЛЛМВ).

Цель работы заключалась в изучении изотопного состава атмосферных осадков в г. Томске с целью построения локальных линий метеорных вод в 2017–2018 гг. и сравнению соотношений между $\delta^{18}\text{O}$ (или δD) в атмосферных осадках и температурой окружающей среды. Атмосферные осадки отбирали в геофизической обсерватории ИМКЭС СО РАН. Изотопный состав кислорода и водорода атмосферных осадков определяли с помощью системы GasBench II и изотопного масс-спектрометра DELTA V Advantage (ТомЦКП) методом уравнивания [2]. Изотопный состав кислорода и водорода определяли по градуировочным графикам, полученным методом уравнивания со стандартным газом по международным стандартным образцам VSMOW2, GISP и SLAP. Погрешность результатов анализа изотопного состава кислорода не превышала $\pm 0,4\%$, водорода – $\pm 1\%$.

Впервые для г. Томска исследованы сезонные изменения изотопного состава атмосферных осадков (2017–2018 гг.) и рассчитаны ЛЛМВ (рис. 1).

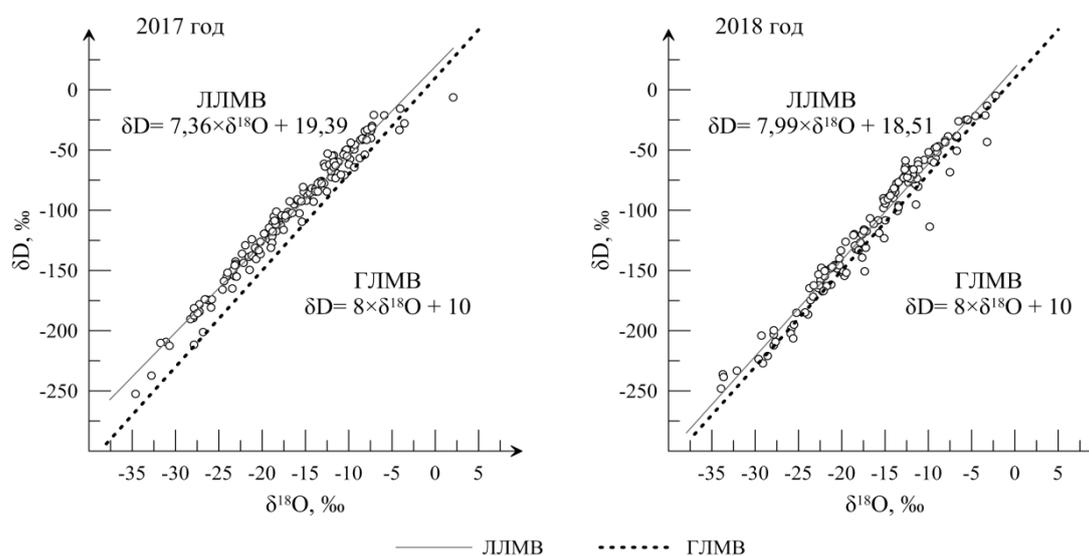


Рисунок 1. Локальные линии метеорных вод для 2017 и 2018 гг. (пунктиром показана глобальная линия метеорных вод)

Проведен регрессионный анализ связи изотопного состава атмосферных осадков и средней температуры воздуха во время их выпадения и рассчитаны значения дейтериевого эксцесса ($d_{\text{exc}} = \delta\text{D} - 8 \times \delta^{18}\text{O}$), определяющего избыток дейтерия в атмосферных осадках по сравнению с его количеством в равновесном процессе, когда $d=0$ (рис. 2) [3].

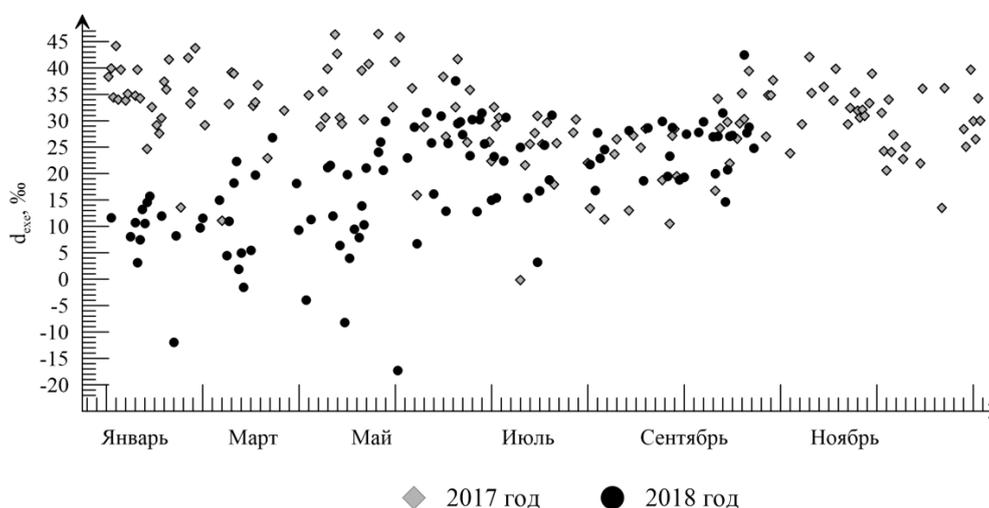


Рисунок 2. Значения дейтериевого эксцесса (d_{exc}) атмосферных осадков

Регрессионный анализ показал, что изменение изотопного состава атмосферных осадков зимнего и весеннего сезона имеет умеренную зависимость от температуры ($R^2 \approx 0,5$), т.е. не было доминирующих атмосферных фронтов зарождения водяного пара, и распределение осадков было нестабильным. Для летнего сезона 2018 г. эта зависимость еще слабее ($R^2 \approx 0,3$), что, в первую очередь, может быть связано со сменой источников поступления осадков и с существенным влиянием на изотопный состав испарительного фракционирования. По уравнению линии метеорных вод был сделан вывод, что для зимнего периода 2018 г. отсутствовало изотопное фракционирование анализируемых атмосферных осадков. Для всех остальных периодов угловые коэффициенты ЛЛМВ меньше 8, что свидетельствует о влиянии на формирование изотопного состава испарительного фракционирования [4]. Данные по направлению ветра показали, что в 2017 и 2018 гг. воздушные массы на территорию г. Томска поступали преимущественно с западного и юго-западного направления. По сравнению с 2017 г. в июле 2018 г. преобладали ветра восточного направления. Для июля 2018 г. характерна очень низкая корреляционная связь изотопного состава δD и $\delta^{18}O$ с температурой, по-видимому, это связано с вихревой активностью и поступлением воздушных масс с восточного направления.

Работа выполнена при поддержке базового проекта АААА-А17-117013050030-1. Метеоданные были предоставлены Геофизической обсерваторией ИМКЭС СО РАН.

1. Ферронский В.И., Поляков В.А. Изотопия гидросферы Земли / В.И. Ферронский, В.А. Поляков – М., Науч. мир, 2009. – 632 с.
2. Лебедев А.Т. Масс-спектрометрия для анализа объектов окружающей среды / А.Т. Лебедев. – М.: Техносфера, 2013. – 632 с.
3. Dansgaard W. Stable isotopes in precipitation / W. Dansgaard // Tellus. – 1964. – Vol. 16. – P. 436–468.
4. Папина Т.С., Малыгина Н.С., Эйрих А.Н., Галанин А.А., Железняк М.Н. Изотопный состав и источники атмосферных осадков в центральной Якутии / Т.С. Папина, Н.С. Малыгина, А.Н. Эйрих, А.А. Галанин, М.Н. Железняк // Криосфера Земли. – 2017. – Т. XXI, № 2. – С. 60–69.

ИЗМЕНЧИВОСТЬ РЕЖИМА УВЛАЖНЕНИЯ ЮГО-ВОСТОКА ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

Волкова М.А.¹, Чередыко Н.Н.²

¹ Томский государственный университет (г. Томск)

² Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН (г. Томск)
mv2101@mail.ru, atnik3@rambler.ru

Территория России существенно неоднородна в смысле климатических условий, что во многом определяет неравномерность развития социальной и экономической сфер в разных регионах. Целесообразен мониторинг происходящих изменений климата в региональном разрезе. Изменчивость режима увлажнения на фоне выраженного потепления характеризуется в среднем по территории страны ростом экстремальных событий, что отчетливо проявляется на региональном уровне [1–4].

В докладе представлены результаты подробного анализа пространственно-временных изменений режима увлажнения на территории юго-востока Западной Сибири и макроциркуляционных условий, соответствующих этим изменениям. Материалами исследования являлись данные количества осадков с 39 метеостанций юго-востока Западной Сибири (Томская, Новосибирская, Кемеровская области и Алтайский край) за период 1961–2014 гг. [meteо.ru]. Также, были привлечены: банк специализированных данных СибНИГМИ «Специализированные массивы данных о характеристиках увлажнения» на 39 станциях юго-востока Западной Сибири и массивы данных СибНИГМИ о площадных характеристиках периодов (дат) одновременного охвата изучаемыми периодами определённого количества станций ($\geq 85\%$ от общего числа привлеченных станций) [5]; календарь последовательности смены элементарных циркуляционных механизмов (ЭЦМ) по типизации Б. Л. Дзерdzeевского [<http://atmospheric-circulation.ru/datas/>].

Проведенное исследование показало, на территории юго-востока Западной Сибири максимальная непрерывная продолжительность сухих периодов за рассмотренный период, в целом, выше продолжительности периодов с осадками. На большей части рассматриваемой территории выявлена тенденция к уменьшению максимальной продолжительности периодов без осадков и увеличению – периодов с осадками, также наблюдаются тенденции уменьшения кратковременных сухих периодов и роста более продолжительных в теплый период года.

В период максимальных скоростей глобального потепления (1976–1997 гг.) наблюдается максимальная повторяемость сильных осадков практически на всей территории исследования, за исключением Кемеровской области, по сравнению с другими регионами юго-востока Западной Сибири.

При рассмотрении площадных характеристик сухих и влажных периодов для случаев охвата событием $\geq 85\%$ рассмотренных станций для теплого периода года выявлено превышение количества и продолжительности сухих периодов по сравнению с числом периодов с осадками почти на фоне потепления в два раза.

Как периоды с осадками, так и периоды без осадков с охватом $\geq 85\%$ станций на юго-востоке Западной Сибири формируются, главным образом, при ЭЦМ меридиональных групп циркуляции, с максимумом повторяемости при ЭЦМ 13л, наименьший вклад вносят ЭЦМ, соответствующие зональной циркуляции.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и Администрации Томской области в рамках научных проектов № 18-47-700005ра и № 18-45-700010ра.

1. Второй оценочный доклад Росгидромета об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. Общее резюме. – М.: Росгидромет, 2014. 62 с.

2. Огурцов Л.А., Чередыко Н.Н., Волкова М.А., Журавлев Г.Г. Динамика показателей экстремальности климата на территории Западной Сибири // Оптика атмосферы и океана 2016. Т. 29. № 8 С. 633–639.

3. Волкова М.А., Чередыко Н.Н., Соколов К.И., Огурцов Л.А. Современная пространственно-временная структура поля экстремальных осадков на территории Западной Сибири // Вестн. Том. гос. ун-та. 2015. № 390. С. 202-210.

4. Немировская Л.Г. Некоторые показатели оценки изменений режима условий увлажнения юго-востока Западной Сибири на основе уточненных специализированных массивов данных характеристик и их режима // Современные проблемы географии и геологии: IV Всероссийская научно-практическая конференция с международным участием, посвященная 100-летию открытия естественного отделения в ТГУ. 16-19 октября 2017 г.: [материалы] – Томск: Изд-во ТГУ, 2017. С. 307-310.

5. Специализированные массивы данных о характеристиках увлажнения, полученные в результате выполнения научно-исследовательской работы по теме 1.3.1.3 Плана НИОКР Росгидромета на 2014-2016 г.г. с ожидаемым результатом для ФГБУ «СибНИГМИ» «Специализированные базы климатических данных для исследования климата и его изменений, оценки изменений режима увлажнения, на территории России (для региона юго-востока Западной Сибири)». [Электронный ресурс] Электр. Текст. Дан. URL: <http://www.sibnigmi.ru/cgi-bin/inst/index.pl?5&81> (дата обращения 10.11.2018)

ОЦЕНКА ЗАГРЯЗНЕНИЯ СНЕГОВОГО ПОКРОВА В ЗОНЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ ЦЕМЕНТНОГО ЗАВОДА

Володина Д.А., Таловская А.В.

Томский политехнический университет (г. Томск)

volodina.da2014@yandex.ru

Цементное производство характеризуется выбросом большого количества пыли в атмосферу. Для оценки состояния атмосферного воздуха эффективно использовать снеговой покров из-за его продолжительного залегания и способности аккумулировать загрязняющие вещества. Многие исследователи применяют атмогеохимический метод для оценки загрязнения атмосферного воздуха, особенно, вблизи промышленных предприятий [1–2, 4–5].

Целью данной работы является оценка состояния атмосферного воздуха в окрестностях крупного цементного завода по данным изучения снегового покрова.

В небольшом городе России расположено крупное предприятие по производству цемента с годовым объемом производства около 4 млн. тонн цемента.

В 2016 году в районе цементного завода, жилой части города, расположенной в 5 км от предприятия, был осуществлен отбор проб снегового покрова, согласно векторной системе с учетом главенствующего направления ветра (юго-западное). В результате было отобрано 15 проб снегового покрова. Фоновой территорией была выбрана деревня, находящаяся в 53 км от города.

Пробы отбирались методом шурфа на всю мощность снегового покрова, за исключением 5 см над почвой. Вес каждой пробы, в среднем, составил 18-20 кг. Работы по отбору и подготовке проб снега были выполнены согласно методическим рекомендациям [1, 3, 4]. Пробоподготовка включала таяние проб снегового покрова при комнатной температуре, полученная снеготалая вода фильтровалась через бумажный фильтр типа «синяя лента». Твердый осадок снега, полученный после фильтрования и высушивания, просеивали через сито (размер ячеек не менее 1 мм) и взвешивали.

Расчет пылевой нагрузки был произведен по формуле [3]:

$$P_n = \frac{P_0}{S \times t}, \quad (1)$$

где P_0 – масса твердого осадка снега, мг; S – площадь шурфа, m^2 ; t – количество суток от начала снегостава до дня отбора проб.

С помощью принятой градации по пылевой нагрузке [4] с дополнениями [3], определялась степень загрязнения и уровень экологической опасности территории. Вещественный состав проб твердой фазы снега был изучен рентгеновской дифрактометрией в лаборатории электронно-оптической диагностики отделения геологии ИШПР ТПУ на порошковом дифрактометре BrukerPhaser D2.

Результаты расчета пылевой нагрузки показали, что значения пылевой нагрузки жилой территории города соответствуют низкой степени загрязнения и неопасному уровню экологической опасности. В санитарно-защитной зоне исследуемого предприятия, наоборот, степень загрязнения соответствует очень высокой и превышает фоновые показатели почти в 231 раз. В районе карьера по добыче известняков и глин формируется средняя степень загрязнения и умеренно-опасный уровень экологической опасности (рисунок 1). В пробах, по мере отдаления от завода, значения пылевой нагрузки уменьшаются, но также в разы превышают фоновые показатели.

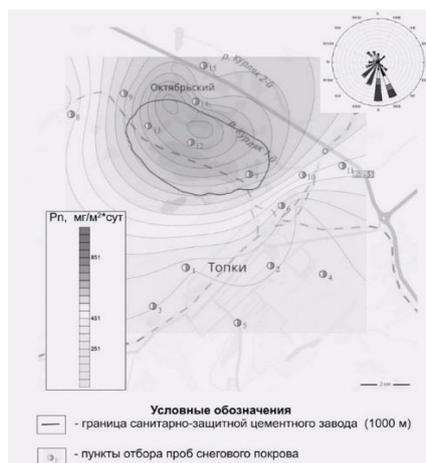


Рисунок 1. Карта пространственного распределения пылевой нагрузки P_n в зоне воздействия цементного завода, $\text{мг}/\text{м}^2 \cdot \text{сут}$

Вещественный состав исследуемых проб характеризуется наличием преимущественно минералов кальцита (CaCO_3) и кварца (SiO_2), которые являются порообразующими минералами известняка – основного сырьевого компонента для производства портландцементного клинкера. В меньших количествах в пробах присутствуют такие минералы, как альбит ($\text{Na}[\text{AlSi}_3\text{O}_8]$) и мусковит ($\text{KA}_2(\text{AlSi}_3\text{O}_{10})(\text{OH})_2$). Пробы из санитарно-защитной зоны содержат минералы цементного клинкера - браунмиллерит ($\text{Ca}_2\text{Al}_2\text{O}_5$), в пробах за пределами санитарно-защитной зоны обнаружены браунмиллерит и хатрурит (трехкальциевый силикат, Ca_3SiO), которые влияют на такие характеристики цемента, как скорость твердения цемента, его пористость и долговечность [6]. Наличие минералов цементного клинкера в исследуемых пробах является подтверждением влияния данного производства на состояние атмосферного воздуха.

Таким образом, в результате проведенных исследований была установлена величина пылевой нагрузки на территорию как на жилую часть, так и на зону размещения цементного завода. Минеральный состав исследуемых проб показал, что наибольший вклад в формирование пылевой нагрузки вносят такие минералы как кальцит и кварц, а также минералы портландцементного клинкера - браунмиллерит и хатрурит.

1. Касимов Н.С. Геохимия снежного покрова в Восточном округе Москвы / Н.С. Касимов [и др.] // Вестник Московского университета серия география. – М., 2012. – № 4. – С. 14–25.

2. Рапута В.Ф., Таловская А.В., Коковкин В.В., Язиков Е.Г. Анализ данных наблюдений аэрозольного загрязнения снежного покрова в окрестностях Томска и Северска // Оптика атмосф. и океана - 2011. - Т. 24, № 1. С. 74-78.

3. Руководство по контролю загрязнения атмосферы. РД 52.04.186 № 2932-83. — М.: Госкомгидромет, 1991. — 693 с.

4. Сает Ю.Е., Ревич Б.А., Янин Е.П. Геохимия окружающей среды. М.: Недра, 1990. 335 с.

5. Таловская А.В., Язиков Е.Г., Филимоненко Е.А. Оценка загрязнения атмосферного воздуха урбанизированных районов Томской области по данным изучения снежного покрова // Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология, 2014, № 5, с. 408–417.

6. Цемент и известь / Под ред. П. Кривенко. Киев, 2008. 480 с.

ОТКЛИК НАЗЕМНОЙ РАСТИТЕЛЬНОСТИ НА ИЗМЕНЕНИЕ ГИДРОТЕРМИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ

Воропай Н.Н.^{1,2}, Рязанова А.А.¹, Дюкарев Е.А.^{1,3}

¹ Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН (г. Томск)

² Институт географии им. В.Б. Сочавы СО РАН (г. Иркутск)

³ Югорский государственный университет (г. Ханты-Мансийск)

voropay_nn@mail.ru

Для оценки состояния ландшафта требуется непрерывный мониторинг как отдельных его компонентов, так и стабильности взаимосвязей между ними. В частности, важной составляющей в анализе ландшафтной стабильности является характеристика отклика наземной растительности на климатическое состояние системы. Наиболее значимыми считаются в этом случае связи биологической продуктивности растений и предшествующих или текущих гидротермических условий. Причем в разных ландшафтах в качестве лимитирующего фактора может выступать как температура воздуха, так и атмосферное увлажнение.

В качестве исходной информации использованы ряды средней месячной температуры воздуха и сумм атмосферных осадков по 10 метеорологическим станциям Томской области [1]. Для характеристики гидротермических условий территории использованы наиболее известные российские и международные количественные показатели засушливости, такие как гидротермический коэффициент Селянинова (ГТК), индекс засушливости Педя (S), стандартизированный индекс осадков (SPI) и стандартизированный индекс осадков и испаряемости (SPEI) за период 1979-2017 гг. [2]. При сравнении гидротермических условий в разных ландшафтах корректнее использовать нормированные показатели, в связи с чем в работе анализировался не ГТК, а его нормированная аномалия.

Основным индикатором засушливости/переувлажнения является состояние наземной растительности. Оценка межгодовой и внутрисезонной изменчивости этого характеристик растительности может быть проведена по показателям, полученным из данных спутниковых изображений MODIS. Существуют различные индексы растительности, характеризующие фенологические условия. Нормализованный разностный индекс растительности (NDVI) использован в качестве индикатора состояния растительного покрова. Месячные карты NDVI (MCD12C1: MODIS/Terra and Aqua Combined Land Cover Type CMG Yearly Global) получены за период с 2000 по 2017 гг. с пространственным разрешением $0,05^\circ \times 0,05^\circ$. Оценка вариативности NDVI в природных комплексах проводилась с учетом карты подстилающей поверхности, представленной 15-ю типами (MCD12Q1: MODIS Land Cover Type CMG Yearly L3 Global), верифицированной по данным натурных наблюдений и экспертной оценки. Нами рассмотрены статистические характеристики NDVI на основных семи типах подстилающей поверхности, выделенных на территории Томской области (темнохвойный, смешанный и лиственный леса, болота, пойменные луга, луга, пашня).

Взаимосвязи между гидротермическими индексами и индексами растительности в большинстве случаев статистически не значимы. Исключение составляют коэффициенты корреляции, полученные для мая. Достаточно высокие корреляционные связи объясняются в первую очередь откликом наземной растительности на относительно высокие температуры в начале теплого периода, которые способствуют раннему началу вегетации. В этом случае корректно говорить о лимитирующем влиянии температурной составляющей гидротермических индексов, в то время как увлажнение остается недоучтенным при расчете рассматриваемых индексов, т.к. все они характеризуют только атмосферную составляющую, не учитывая почвенную влагу. И если в последующие месяцы ее количество будет пропорционально атмосферному увлажнению, то в мае запас продуктивной влаги в большей степени зависит от условий предшествующего зимне-весеннего периода. То есть высокие значения NDVI в мае наблюдаются не при засушливых условиях, а при относительно высоких значениях средних температур.

Таблица 1. Коэффициенты корреляции между гидротермическими индексами и NDVI.

Ме- сяц	Гидро- термический индекс	Тип подстилающей поверхности						
		Темно- хвой- ные леса	Листвен- ные леса	Смешан- ные леса	Пойма	Луг	Боло- то	Пашня
V	ГТК _{норм.}	-0,38	-0,06	-0,33	-0,06	0,11	-0,36	0,15
	S	0,69	0,53	0,74	0,53	0,44	0,64	0,36
	SPI	-0,58	-0,18	-0,43	-0,22	-0,10	-0,46	0,01
	SPEI	-0,69	-0,47	-0,70	-0,48	-0,38	-0,61	-0,29
VI	ГТК _{норм.}	-0,31	-0,11	-0,21	-0,28	-0,06	-0,16	-0,07
	S	0,49	0,16	0,42	0,24	0,04	0,31	0,07
	SPI	-0,17	-0,03	-0,07	-0,25	0,00	0,00	0,00
	SPEI	-0,42	-0,12	-0,33	-0,26	-0,04	-0,25	-0,06
VII	ГТК _{норм.}	0,07	0,02	0,14	0,16	0,39	0,45	0,41
	S	0,16	0,21	0,12	0,01	-0,18	-0,28	-0,26
	SPI	0,25	0,12	0,27	0,31	0,50	0,64	0,55
	SPEI	0,25	0,12	0,27	0,31	0,50	0,64	0,55
VIII	ГТК _{норм.}	-0,40	0,02	-0,34	0,15	0,21	0,24	0,23
	S	0,33	-0,03	0,26	-0,09	-0,17	-0,14	-0,22
	SPI	-0,29	0,07	-0,26	0,22	0,23	0,35	0,23
	SPEI	-0,34	0,04	-0,29	0,17	0,21	0,27	0,23
IX	ГТК _{норм.}	0,17	0,18	0,06	0,22	0,04	0,08	-0,07
	S	-0,06	-0,23	-0,11	-0,36	-0,21	-0,22	-0,29
	SPI	-0,08	0,11	0,00	0,26	0,07	-0,03	0,15
	SPEI	-0,02	0,17	0,05	0,31	0,15	0,09	0,23

Примечание: желтым выделены статистически значимые коэффициенты.

Анализ коэффициентов корреляции между рядами гидротермических индексов и индексов растительности с задержкой 1, 2, 3 и 4 месяца показал, что отклик растительности на метеорологические условия чаще отмечается при использовании в качестве их характеристики индексов S и SPEI. Влияние гидротермических условий мая и июня на состояние растительности прослеживается до сентября. При этом наиболее чувствительными к увлажнению и температурам предыдущих месяцев оказались болотные ландшафты и пашни.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта №18-45-700015.

1. Булыгина, О.Н. Описание массива срочных данных об основных метеорологических параметрах на станциях России (Электронный ресурс) / О.Н. Булыгина, В.М. Веселов, В.Н. Разуваев, Т.М. Александрова // Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2014620549 – Режим доступа: <http://meteo.ru/data/163-basic-parameters#описание-массива-данных>.

2. Voropay N N, Ryazanova A A. A comparative assessment of the aridity indices for analysis of the hydrothermal conditions // IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 190 (2018) 012041 doi :10.1088/1755-1315/190/1/012041.

МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ОБРАЗОВАНИЯ ОБЛЕДЕНЕНИЯ ВОЗДУШНЫХ СУДОВ (НА ПРИМЕРЕ ТЕРРИТОРИИ БЕЛАРУСИ)

Гледко Ю.А., Сенькив К.А.

Белорусский государственный университет (г. Минск, Республика Беларусь)

gledko74@mail.ru

Зависимость регулярности движения воздушного транспорта от метеорологических условий, требует постоянного учета данного фактора в повседневной работе. К опасным для авиации явлениям погоды, связанным с замерзающими осадками, относятся: обледенение, гололед, гололедица, изморозь. Обледенение – одно из наиболее неблагоприятных метеорологических явлений, от которого в значительной мере зависит безопасность и регулярность полетов самолётов и вертолетов. Обледенение, как правило, представляет собой любое отложение или покрытие льда на объекте, вызванное столкновением и замерзанием жидких (обычно переохлажденных) гидрометеоров. Причинами обледенения являются два основных процесса: 1) сублимация водяного пара на поверхности воздушных судов (образуется в тех случаях, когда температура поверхности воздушного судна ниже температуры воздуха); 2) замерзание переохлажденных капель, сталкивающихся с лобовыми частями воздушного судна при полете в облаках, осадках, тумане. Для обоих случаев обязательным условием является отрицательная температура поверхности самолета [1].

Толщиной слоя льда, отлагающегося на поверхности самолета в единицу времени, определяется интенсивность обледенения. Выделяют 3 градации интенсивности обледенения (таблица 1).

Таблица 1. Интенсивность обледенения воздушных судов [2]

Интенсивность обледенения	Скорость отложения льда
слабое	не более 0,5 мм/мин
умеренное	от 0,5 до 1,0 мм/мин
сильное	более 1,0 мм/мин

В качестве материалов для исследования использовались данные дневников погоды АВ-6, взятые на АМСГ Минск-2, а также синоптические карты за 2014–2018 гг., предоставленные Белгидрометом. На основании полученных данных была составлена база данных со случаями обледенения за исследуемый период. Рассмотрев 917 случаев обледенений, наблюдавшихся за 2014–2018 гг. над территорией Республики Беларусь, можно сделать вывод, что по интенсивности преобладает умеренное обледенение. На него приходится 49,6% всех наблюдавшихся обледенений (таблица 2). На втором месте слабое обледенение (41,2% случаев).

Таблица 2. Интенсивность обледенения, наблюдавшегося над территорией Республики Беларусь 2014-2018 гг. (составлено по данным Белгидромета)

Интенсивность	Количество случаев	Повторяемость, %
Сильное	84	9,2
Умеренное	455	49,6
Слабое	378	41,2

Наиболее благоприятные условия для образования сильного обледенения воздушных судов наблюдаются во фронтальных облачных системах. Во внутримассовых облаках преобладает слабое и умеренное обледенение (таблица 3).

Таблица 3. Повторяемость интенсивности обледенения самолетов при различных синоптических ситуациях (%) (составлено по данным АМСГ Минск-2)

Синоптическая ситуация	Интенсивность обледенения			Число случаев
	слабое	умеренное	сильное	
Фронтальные облака				
Теплый фронт	118	134	19	271
Теплый сектор	18	25	3	46
Холодный фронт	85	120	24	229
Фронт окклюзии	75	94	19	188
В среднем				734
Внутримассовые облака				
Циклон	23	11	4	38
Антициклон	22	27	3	52
Седловина	28	28	9	65
Передняя часть ложбины	5	8	2	15
Тыловая часть ложбины	4	8	1	13
В среднем				183

Как видно из таблицы 3 во фронтальных облаках наблюдалось 734 случая обледенения, что составляет 80,04% от рассматриваемых случаев, из них 29,55% – во время теплого фронта, 24,97% – во время холодного и 20,51% – фронта окклюзии.

Как уже говорилось ранее, необходимым условием для возникновения обледенения воздушного судна является наличие отрицательной температуры поверхности воздушного судна и наличие в воздухе сконденсированной влаги. Согласно экспериментальным данным, обледенение воздушного судна чаще всего наблюдается при температуре воздуха до -24°C ... -25°C , а наиболее часто от 0°C до -10°C ... -12°C . Такая температура соответствует жидкокапельным облакам. Из 917 случаев обледенения 72,3% случаев наблюдалось в диапазоне температур от 0°C до -12°C .

Наиболее благоприятные условия для обледенения самолетов в любой период года возникают в облаках. Из 917 случаев обледенения, за исследуемый период, 864 случая наблюдалось в облаках, причем вероятность слабого обледенения составила 41,20%, умеренного – 49,77%, сильного – 9,03%. Обледенение может наблюдаться в облачности разного типа. Наибольшее количество случаев обледенения наблюдалось в слоисто-кучевых (Sc) (240 случаев), слоистых (St) (219 случаев) и слоисто-дождевых (Ns) (164 случая) облаках.

В завершении следует отметить, что ввиду отсутствия в Беларуси исследований по данной тематике, в будущем работа будет продолжена с целью наиболее точного выявления зависимости влияния замерзающих осадков на полет воздушных судов.

1. Абрамович, К.Г. Руководство по прогнозированию метеорологических условий для авиации / К.Г. Абрамович, А.А. Васильев – Л.: Гидрометеиздат, 1985. – 301 с.

2. Шакина, Н.П., Иванова А.Р. Прогнозирование метеорологических условий для авиации / Н.П. Шакина, А.Р. Иванова. – М.: Триада лтд, 2016. – 312 с.

ВЛИЯНИЕ СКОРОСТИ ВЕТРА НА ВЛАЖНОСТЬ ВОЗДУХА НА ЛЕДНИКЕ ТУЙЫКСУ

Ерисковская Л.А.

ТОО «Институт географии» (г. Алматы, Республика Казахстан)

erisk48@mail.ru

Введение. Изменение климатических характеристик в горах имеет важное значение для жизнедеятельности человека. Поэтому значительное внимание уделяется ледникам, которые служат индикаторами климата и важнейшей составляющей водного баланса. Особенно чувствительны ледники к колебаниям температуры воздуха. Для анализа был взят репрезентативный ледник Туйыксу (Туюксу) Илейском Алатау (Заилийском Алатау), где с 1972 г. ведутся круглогодичные наблюдения на гляциологическом стационаре Института географии Республики Казахстан. Расположен стационар на высоте 3450 м на морене около ледника. Обработанные данные по леднику Туйыксу, который входит в систему Мировой службы мониторинга ледников, приводятся в бюллетенях этой службы.

Метеорологические условия. По исследованию М.И. Геткера и Г.Е. Глазырина более благоприятны весенние осадки, чем осенние [1]. За период 1973–2018 гг. (апрель-май) осадки и температура воздуха возрастают. Температура воздуха до 1996 года понижалась, затем начала резко возрастать (рис. 1). Весенний период в многолетнем ходе стал теплее. Обильное выпадение осадков способствуют уменьшению абляции ледника в связи с увеличением альбедо поверхности и возрастанием затрат тепла на таяние свежеснежного покрова. Пример 2016 года. Баланс массы ледника положительный (561мм). Это благоприятный для оледенения год, когда граница питания ледника (3730 метров) ниже средней многолетней 3850 метров (с 1972–2018г.) и на долю области питания приходилась большая часть площади ледника.

Осадков в мае за 2015–2016 балансовый год выпало в 2,2 раза выше нормы. В мае осадки выпадали в течение 20 суток. Из них 17 суток – с твердыми, 3-е – со смешанными осадками с преобладанием твёрдой фазы.

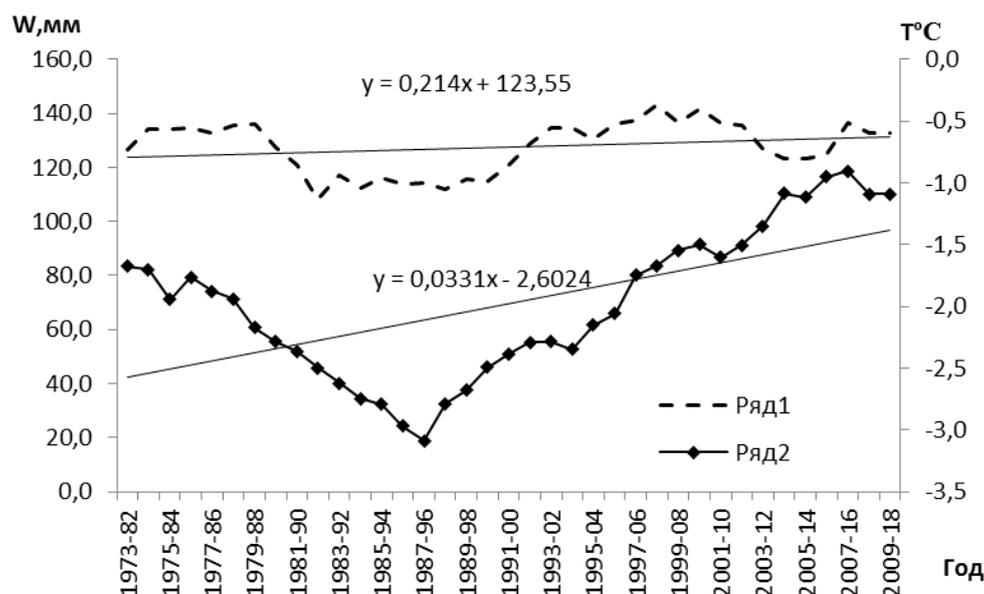


Рисунок 1. Изменения скользящих за апрель-май по 10-летиям на станции Туйыксу за период 1973–2018 гг. 1 – сумма атмосферных осадков (W, мм), 2 – средняя месячная температура воздуха (T, °C) и их линейные тренды.

Скорость ветра в 90-х годах (апрель-май) стала уменьшаться, а относительная влажность возрастать. В связи с уменьшением скорости ветра, турбулентное перемешивание приземных слоёв воздуха и испарение с ледника уменьшается. Это способствует увеличению влажности воздуха. Коэффициент корреляции между средней месячной скоростью ветра и относительной влажностью воздуха за весенний период (апрель-май) равен $-0,9$ (рис. 2). Увеличение влажности воздуха благоприятно для оледенения.

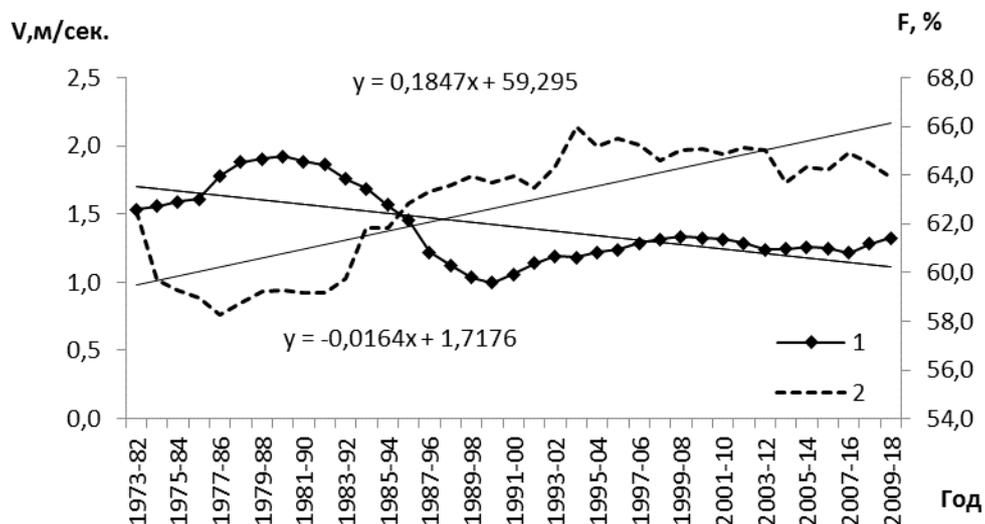


Рисунок 2. Изменения скользящих за апрель-май по 10-летиям на станции Туйтыксу за период 1973–2018 гг. 1 – средняя месячная скорость ветра в (V, м/сек.), 2 – средняя месячная относительная влажность в процентах (F, %) и их линейные тренды.

Синоптические процессы. Большое влияние на все метеоэлементы оказывают синоптические процессы. Для анализа использовалась типизация макроциркуляционных процессов, разработанная Б.Л. Дзерdzeевским для Северного полушария [2]. В отдельную группу им выделена меридиональная южная циркуляция (тип 13). Именно с этой группой с начала 1980-х годов (максимум приходится на 1989 г.) и в настоящее время связано большинство метеорологических экстремумов в горных районах [4]. В 20 веке повторяемость ЭЦМ (элементарные циркуляционные механизмы) 13л росла. С 1989 года количество суток с ЭЦМ 13л стало уменьшаться и увеличиваться другие типы циркуляции, в частности тип 12-й [3]. Рост суммарной продолжительности ЭЦМ 12-го типа и чередование их с ЭЦМ 13-го создали наилучшие условия для обострения атмосферных фронтов, резких контрастов температуры воздуха. В весенний период (апрель-май) число случаев и количество осадков за исследуемый период преобладало при ЭЦМ 12-го типа.

Заключение. Таким образом, несмотря на глобальное потепление, баланс массы ледника может быть положительным при выпадении обильных осадков в весенний период (апрель-май) при ЭЦМ 12-го типа и чередовании их с ЭЦМ 13л.

1. Геткер М.И., Глазырин Г.Е. Некоторые характеристики осадков в горах и их влияние на горное оледенение. // Проблемы гляциологии Алтая. – Томск, 1972, – 53 с.
2. Дзерdzeевский Б.Л. Общая циркуляция атмосферы и климат. - Москва. 1975. – 285 с.
3. Ерисковская Л.А. Климатические условия ледника Туйтыксу. Характеристика и анализ метеорологических данных. Монография. Saarbrücken, Deutschland, LAP LAMBERT Academic Publishing. Алматы – 2014. – 76 с.
4. Кононова Н.К. Классификация циркуляционных механизмов Северного полушария по Б.Л. Дзерdzeевскому / Отв. ред. А.Б. Шмакин – М.: 2009. – 372 с.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ МЕЗОМАСШТАБНЫХ КОМПЛЕКСОВ ПРИ АНАЛИЗЕ ДАННЫХ СПУТНИКОВОГО ЗОНДИРОВАНИЯ

Жукова В.А.¹, Кошикова Т.С.²

¹ Томский государственный университет (г. Томск)

² Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН (г. Томск)
jukowa.vera2017@yandex.ru, tkoshikova@gmail.com

В настоящее время стала четко прослеживаться взаимосвязь между облачностью и конвективными процессами. Согласно статистическим данным, в России 40% всех случаев опасных метеорологических явлений приходится на опасные явления (ОЯ), связанные с зонами образования активной конвекции. Основные трудности своевременного прогнозирования конвективной облачности и связанных с ней опасных метеорологических явлений, обусловлены большой пространственной и временной изменчивостью облачности и сложностью усвоения информации о её физических характеристиках в прогностических региональных мезомасштабных моделях [2].

В качестве объекта исследования рассматривались мезомасштабные конвективные комплексы (МКК). В работе за МКК принимался массив кучево-дождевой облачности диаметром 50 км и более, исходя из того, что территория исследования не предрасположена к образованию МКК, и даже такой не большой по размерам облачный массив способен генерировать опасные явления (гроза, град, ливни). Активная часть жизненного цикла МКК в среднем составляет около 16 ч, однако его влияние на условия погоды могут сохраняться до 36 ч.

Область исследования условно располагается между 50° и 60° с.ш. и 70° и 90° в.д., в которую входят 5 территориально-административных единиц, расположенных на юго-востоке Западной Сибири: Томская область, Новосибирская область, Кемеровская область, Республика Алтай и Алтайский край.

Для оценки повторяемости параметров МКК на юго-востоке Западной Сибири за теплый период (апрель-сентябрь) 2000–2018 гг., использовался метод визуального дешифрирования облачности, данные радиометра MODIS космических аппаратов Terra и Aqua. Спектрорадиометр MODIS имеет 36 каналов и позволяет производить регулярную съемку территории с пространственным разрешением от 250 до 1000 м [1].

В результате визуального дешифрирования МКК за период 2000-2018 гг. получена повторяемость числа случаев с их наличием (рис. 1). Суммарное количество дней за 19 лет составило 409 случаев, когда была зафиксировано прохождение МКК. В среднем за 19 лет было зафиксировано 21 день с наличием МКК в теплом периоде (с апреля по сентябрь). Максимум повторяемости дней с МКК наблюдался в 2016 году и составил 31 день. Необходимо отметить, что 2016 год был аномальным по многим метеорологическим параметрам. Так, например, летом 2016 года многократно регистрировались новые суточные максимумы температуры воздуха, нормы среднемесячной температуры для некоторых станций Западной Сибири были превышены на 3–8°. Атмосферные осадки на исследуемой территории преимущественно были в норме, хотя местами превысили ее в 1,5–2 раза [3]. Минимальное количество дней с МКК отмечалось в 2000 году – 11 дней.

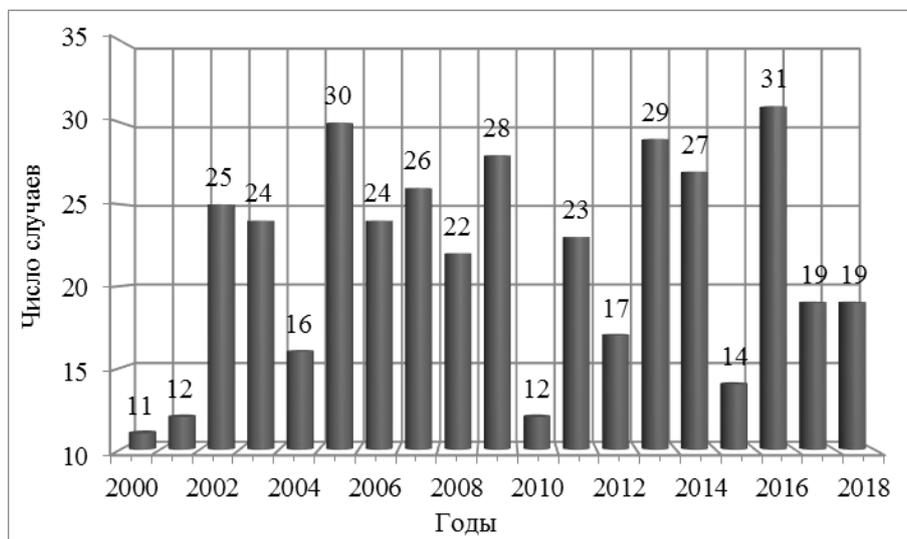


Рисунок 1. Временной ход повторяемости МКК за теплый период с 2000 по 2018 гг.

Для определения параметров в дни формирования и прохождения МКК по данным спектрорадиометра MODIS, использовались следующие микрофизические характеристики: оптическая толщина (COT), эффективный радиус (CER), интегральное содержание воды (CWP) и верхняя граница облачности (СТН). В таблице 1 представлены результаты квантильного анализа рассчитанных микрофизических характеристик мезомасштабного комплекса.

Таблица 1. Статистические показатели за летний период микрофизических характеристик облачности МКК

Статистические показатели	COT (ед.)	CER (мкм)	CWP (г/м ²)	СТН (м)
Медиана	120	230	1900	12100
Межквартильный размах	30	10	500	1400
5-й процентиль	60	20	800	6800
25-й процентиль	80	20	1300	10600
75-й процентиль	150	30	2500	12200
95-й процентиль	150	40	3100	16900

Согласно таблице, средние значения оптической толщины находятся в диапазоне 80–150 ед., при этом в случаях 5% от выборки превышает значение 150. Наиболее часто встречающийся эффективный радиус облачной частицы в мезомасштабном конвективном комплексе 20–30 мкм, в 5% случаев от выборки превышает значение 40 мкм.

1. Успенский А.Б., Кухарский А.В., Успенский С.А. Валидация результатов спутникового мониторинга температуры поверхности суши. Метеорология и гидрометеорология, 2015. №2. С. 81–85.

2. Пьянков С.В., Шихов А.Н. Опасные гидрометеорологические явления: режим, мониторинг, прогноз. Пермь 2014. – 248 с.

3. [Электронный ресурс] – URL: <https://meteoinfo.ru/climat-tabl3> (дата обращения 10.07.2019).

РАДИАЦИОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ДЫМОВОГО АЭРОЗОЛЯ В РАЙОНЕ СТ. ТИКСИ (ЯКУТИЯ) ПО ДАННЫМ ИЗМЕРЕНИЙ И ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Журавлева Т.Б., Насртдинов И.М., Чеснокова Т.Ю., Артюшина А.В.

Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН (г. Томск)

ztb@iao.ru

Одним из основных климатообразующих составляющих атмосферы является черный углерод (BC). Для оценки его влияния на радиационно-температурный режим отдельных районов арктической зоны в течение двух последних десятилетий проводится регулярный мониторинг различных параметров атмосферы с использованием систем наземного, судового, самолетного и космического базирования.

Наблюдательная сеть на территории российской Арктики представлена преимущественно метеорологическими станциями. На этом фоне уникальные по номенклатуре измерения характеристик атмосферы были получены на международной Гидрометеорологической обсерватории (ГМО) «Тикси» в течение 2012-2014 гг. (<https://www.esrl.noaa.gov/psd/iasoa/stations/tiksi>). Помимо стандартных метеопараметров и радиационных потоков, там проводились измерения коэффициентов рассеяния и поглощения в приземном слое атмосферы и базировался входящий в мировую сеть AERONET солнечный фотометр CE 318, функционирование которого обеспечивало восстановление оптических и микрофизических характеристик аэрозоля в столбе атмосферы.

Анализ приземных концентраций BC ([BC]) в июне-сентябре 2012–2014 гг. показал, что наибольшее среднее значение [BC] (~140 нг/м³) наблюдалось в июле 2014 г. с аномально высокими значениями (~4100 нг/м³) в период 30-31 июля. Повышенные значения [BC] были следствием переноса загрязнений с восточного направления, где в этот период имели место не столь сильные, но достаточно близко расположенные к ГМО «Тикси» пожары. Этот период характеризовался также достаточно высокими значениями аэрозольной оптической толщи (AOT(500 нм)=0.7–0.85) и показателя Ангстрема ($\alpha=1.5-1.7$); величина альбеда однократного рассеяния в диапазоне 440–1020 нм изменялось в диапазоне 0.93–0.97 (версия 3, <http://aeronet.gsfc.nasa.gov>).

В работе представлены модельные оценки среднесуточных прямых радиационных эффектов (ПРЭ) фонового и дымового аэрозоля в солнечном и тепловом диапазонах спектра, полученные с использованием данных измерений на ст. Тикси в летний период. Расчеты широкополосных потоков излучения выполнены с использованием оригинальных статистических алгоритмов, входящих в разрабатываемый в ИОА СО РАН программно-алгоритмический комплекс MATHART ((Monte Carlo Codes for Three-Dimensional Radiative Transfer), предназначенный для моделирования потоков и полей яркости солнечного и теплового излучения в различных атмосферных условиях. Коэффициенты молекулярного поглощения рассчитаны с использованием базы данных HITRAN-2012.

Входные параметры уравнения переноса излучения в солнечном диапазоне (0.2–5 мкм) в фоновых условиях задавались на основе измерений в приземном слое [1]. Для характеристики ПРЭ дымового аэрозоля использованы данные фотометрических наблюдений в столбе атмосферы, наблюдаемые в период аномально высокой концентрации BC в конце июля 2014 г. (<http://aeronet.gsfc.nasa.gov>).

Оптические характеристики дымового аэрозоля в длинноволновой области спектра (3–50 мкм) были сформированы на основе представленных в модели OPAC [2] фракций аэрозоля (гидрофильной, негидрофильной, сажевой) таким образом, чтобы полученные значения находились в удовлетворительном согласии с данными AERONET-наблюдений в солнечном диапазоне спектра при относительной влажности 70%, а также сведения о приземной температуре (высота 2 м, интервал – 1 час) и профилях температуры и влажности, полученные по

результатам радиозондирования атмосферы 2 раза в сутки (<http://weather.uwyo.edu/upperair/sounding.html>).

В таблице представлены примеры расчетов прямых радиационных эффектов дымового аэрозоля Φ в коротко- (SW) и длинноволновой (LW) областях спектра по отношению к фоновым условиям, наблюдаемым в ГМО «Тикси» в июле 2012–2014 гг. Результаты численного моделирования Φ_{SW} и Φ_{LW} показывают, что в солнечном диапазоне появление оптически плотного аэрозольного слоя приводит к существенному усилению выхолаживания на подстилающей поверхности: среднесуточное значение ПРЭ изменяется от -8.3 Вт/м² до -77.5 Вт/м². Увеличение поглощательной способности частиц за счет сажевой компоненты в совокупности с существенным приращением АОТ ведет к возрастанию поглощения солнечной радиации в столбе атмосферы, и его среднесуточное значение увеличивается от 2,2 до 60,4 Вт/м². В длинноволновой области спектра прямое радиационное воздействие дымового аэрозоля с доминирующей мелкодисперсной фракцией не превосходит 1-3 Вт/м². Эта величина меньше неопределенности в оценках Φ_{LW} , обусловленных неопределенностью в задании вертикальных профилей температуры и влажности, свойств подстилающей поверхности, ошибок в расчетах радиационных характеристик и т.д.

Таблица 1. Среднесуточный прямой радиационный эффект аэрозоля на нижней ($z=0$), верхней ($z=100$ км) границах и в столбе атмосферы в солнечном и тепловом диапазонах спектра для различных условий ГМО «Тикси»

	$\Phi_{LW}^{day}(z=0)$	$\Phi_{LW}^{day}(z=100 \text{ км})$	Φ_{LW}^{atm}	$\Phi_{SW}^{day}(z=0)$	$\Phi_{SW}^{day}(z=100 \text{ км})$	Φ_{SW}^{atm}
Дымовой аэрозоль, Вт/м ² (31 июля 2014 г.)						
АОТ(0.5 мкм) = 0.8	3.5	1.1	-2.4	-77.5	-17.2	60.4
Фоновый аэрозоль, Вт/м ² (июль 2014 г.)						
АОТ(0.5 мкм) = 0.05÷0.23	0.15	0.1	-0.05	-8.3	-6.1	2.2

Полученные среднесуточные значения ПРЭ использованы для оценок среднемесячных значений прямых радиационных эффектов дымового аэрозоля в идеализированной ситуации, когда присутствие облаков в атмосфере полностью игнорируется. Показано, что короткие эпизоды повышенных значений концентрации ВС и АОТ приводят к изменению среднемесячных значений ПРЭ, сравнимых с изменчивостью ПРЭ фонового аэрозоля, обусловленной внутримесячной вариабельностью оптических характеристик в отсутствие экстремальных ситуаций [3].

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке РФФИ (грант №17-05-00245) и программы Президиума РАН № 51 «Изменение климата: причины, риски, последствия, проблемы адаптации и регулирования».

1. Schmeisser L., Backman J., Ogren J.A., Andrews E., Asmi E., Starkweather S., Uttal T., Fiebig M., Sharma S., Eleftheriadis K., Vratolis S., Bergin M., Tunved P., Jefferson A. Seasonality of aerosol optical properties in the Arctic // Atmos. Chem. Phys. 2018. 18. P. 11599–11622.

2. Hess M., Koepke P., Schult I. Optical properties of aerosols and clouds: The software package OPAC // Bull. of the American Meteorological Society. 1998. V. 79, № 5. P. 831-844.

3. Журавлева Т.Б., Насртдинов И.М., Виноградова А.А. Прямые радиационные эффекты дымового аэрозоля в районе ст. Тикси (Российская Арктика): предварительные результаты. // Оптика атмосферы и океана. 2019. Т. 32. № 01. С. 29-38.

ИЗМЕНЕНИЕ ВЛАЖНОСТИ ПОЧВЫ В ЕСТЕСТВЕННЫХ И АНТРОПОГЕННО НАРУШЕННЫХ УСЛОВИЯХ В ТУНКИНСКОЙ КОТЛОВИНЕ

Завазиева Д.-С.М.¹, Воропай Н.Н.²

¹ Томский государственный университет (г. Томск)

² Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН (г. Томск)
jiliharasky@gmail.com, voropay_nn@mail.ru

С 1957 года особенно ярко проявился прогресс в области анализа физических процессов, протекающих в почве, распространения физических методов исследования свойств почвы, применения физической аппаратуры к оценке различных характеристик почвы [1].

Почвенная влага относится к важнейшим компонентам почвы, процессу почвообразования и формирования почвенного плодородия. Она также относится к числу основных факторов почвенного климата, поскольку это особая среда, в которой в специфических условиях преломляется и проявляется климат атмосферы. Был проанализирован годовой цикл влажности почвы на площадках в Тункинской котловине (Юго-западное Прибайкалье, Республика Бурятия) за период с 01.01.2014 по 31.12.2014, а также изменение влажности в период оттаивания и замерзания почвы на площадках.

Исследования влажности почвы проводились с помощью системы автоматического мониторинга «АПИК» (производство ИМКЭС СО РАН) на песчаном массиве Бадар в Тункинской котловине [2]. Система предназначена для мобильных и стационарных долговременных автоматических измерений и регистрации основных параметров атмосферы и почвы. В ее состав входит датчик влажности грунта TRIME-PCO32. Он работает по методу удельной диэлектрической проницаемости и определяет объемную относительную влажность почвы. Диапазон измерения этого прибора от 0% до 100%. При объемной влажности почвы от 0% до 40% его погрешность составляет $\pm 1\%$, а от 40% до 70% – $\pm 2\%$. Измерения проводятся через каждые 15 минут [3].

Материалами для работы послужили данные наблюдений ИГ СО РАН за влажностью почвы на площадках. Из предоставленных данных мы взяли только необходимые нам данные по влажности почвы в процентах и температуры почвы на поверхности и на глубине 15 см с 01.01.2014 г. по 31.12.2014 г. Кроме того при анализе были использованы данные измерения температуры воздуха и сумм атмосферных осадков на ближайшей метеорологической станции Росгидромета (Тунка) за тот же период [4].

1. Нерпин С. Физика почвы / С. Нерпин, А. Чудновский – М.: Наука, 1967. – 583 с.

2. Воропай Н.Н., Черкашина А.А., Кураков С.А. Применение терморегистраторов для исследования гидротермического режима почв на территории Тункинской котловины / Международная конференция по измерениям, моделированию и информационным системам для изучения окружающей среды «ENVIROMIS-2014». Избранные труды. (Томск, 28 июня-5 июля) – Томск: Изд-во Томского ЦНТИ, 2014. - С.205-208.

3. Автономный измеритель профиля температуры АИПТ: руководство по использованию / Томск: ИМКЭС, 2008. – 12 с.

4. Булыгина О.Н., Разуваев В.Н., Александрова Т.М. Описание массива данных суточной температуры воздуха и количества осадков на метеорологических станциях России и бывшего СССР (ТТТР). Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2014620942 URL: <http://meteo.ru/data/162-temperature-precipitation#описание-массива-данных> (дата обращения 24.05.2019).

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ШИРИНЫ ТРОПИЧЕСКОГО ПОЯСА ЗЕМЛИ НА ОСНОВЕ ПОЛОЖЕНИЯ СУБТРОПИЧЕСКИХ СТРУЙНЫХ ТЕЧЕНИЙ

Золотов С.Ю., Логинов С.В.

Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН (г. Томск)
sergey-zo@yandex.ru

Субтропическое струйное течение (ССТ) связано с формированием в верхней тропосфере фронта, обязанного своим появлением сходящимся на широтах 30° – 40° верхнетропосферными ветвями ячеек меридиональной циркуляции Хэдли (тропической) и Ферреля (среднеширотной). В результате в верхней тропосфере образуется локальная область направленных к полюсу больших градиентов температуры и давления (область бароклинности) с максимальными значениями, расположенными под тропопаузой. Под действием градиента давления и силы Кориолиса возникает квазигеострофический баланс, в результате которого воздушные потоки движутся с запада на восток, а их скорость определяется уравнением термического ветра.

Целью данной работы является определение ширины тропического пояса Земли с учетом влияния пространственно-временных изменений ячеек циркуляции на изменение положения струи. Количественные оценки данного влияния можно рассчитать с помощью функции тока меридионального массопереноса. Анализ пространственного распределения ячеек циркуляции показывает факт чередования меридиональной и зональной форм циркуляции в разные временные периоды для географических областей Земли. В моменты смены форм циркуляции наблюдаются значимые перемещения границ этих ячеек и увеличение интенсивности циркуляции в них, включая увеличение интенсивности процессов вихреобразования.

В качестве исходных данных использовались поля скорости ветра в тропосфере из баз данных реанализов NCEP-NCAR, NCEP-DOE, JRA-55 и ERA-Interim за 1958–2017 гг. Для анализа широтного положения струйного течения использовался уровень 200 гПа, поскольку именно на нем наблюдаются максимальные скорости западных ветров в верхней тропосфере субтропиков в обоих полушариях.

Ряды среднегодовых и сезонных значений широтного положения оси струйного течения анализировались как в целом для интервала 1958–2017 гг., так и в подынтервалах 1958–1979, 1979–2000 и 2000–2017 гг. отвечающих эпизодам похолодания, потепления и стабилизации температуры. Дополнительно мы выделили подынтервал 1979–2017 гг. в качестве максимального по продолжительности временного периода, охваченного всеми четырьмя реанализами.

Количественные данные о трендах ширины тропического пояса приведены в таблице 1. Из таблицы следует, что в зимний сезон для всего временного интервала 1958–2017 гг. имеют место статистически значимые тренды расширения тропического пояса. Данное расширение более выражено в Восточном, чем в Западном полушарии, причем эта тенденция проявляется почти для всех рассматриваемых временных интервалах.

В летний сезон также имеет место тенденция расширения тропического пояса, хотя в современный период отмечается незначимый тренд уменьшения его ширины.

Таблица 1. Значения трендов (град. широты за 10 лет) ширины тропического пояса Земли на основе положений осей ССТ.

Сезон	Временной период	Все меридианы	Восточное полушарие (0° в.д. – 180° в.д.)	Западное полушарие (180° з.д. – 0° з.д.)
Зима	1958–2017	0,83	0,67	0,57
	1979–2017	0,76	1,14	0,41
	1958–1979	0,62	0,58	0,67
	1979–2000	0,90	1,41	0,42
	2000–2017	0,88	1,24	0,55
Лето	1958–2017	0,81	0,82	0,79
	1979–2017	0,02	-0,49	0,53
	1958–1979	1,74	1,51	1,95
	1975–2000	0,69	-0,39	1,79
	2000–2017	-1,27	-0,96	-1,55

ОСОБЕННОСТИ ИЗМЕНЧИВОСТИ СЕВЕРНОГО СУБТРОПИЧЕСКОГО СТРУЙНОГО ТЕЧЕНИЯ

Золотов С.Ю., Логинов С.В.

Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН (г. Томск)
sergey-zo@yandex.ru

Субтропическое струйное течение (ССТ) связано с формированием в верхней тропосфере фронта, обязанного своим появлением сходящимся на широтах 30° - 40° верхнетропосферными ветвями ячеек меридиональной циркуляции Хэдли (тропической) и Ферреля (среднеширотной). В результате в верхней тропосфере образуется локальная область направленных к полюсу больших градиентов температуры и давления (область бароклинности) с максимальными значениями, расположенными под тропопаузой. Под действием градиента давления и силы Кориолиса возникает квазигеострофический баланс, в результате которого воздушные потоки движутся с запада на восток, а их скорость определяется уравнением термического ветра.

Под ССТ, с учетом действия опускающегося сухого холодного воздуха формируются субтропические зоны высокого давления, которые на материках северного и южного полушарий соответствуют зонам пустынь. Поэтому, изменчивость характеристик ССТ, в частности их широтного положения, в условиях изменяющегося климата имеет не только теоретический, но и практический интерес.

Цель настоящей работы заключается в исследовании изменчивости характеристик ССТ северного полушария во второй половине 20-го и в начале 21-го веков и связи этой изменчивости с различными климатическими факторами, в частности, с температурным режимом тропосферы. При изучении струйных течений чаще всего исследуют такие характеристики, как широтное положение струи и скорость ветра в ее пределах.

В качестве исходных данных использовались поля температуры и скорости ветра в тропосфере из баз данных реанализов NCEP-NCAR, NCEP-DOE, JRA-55 и ERA-Interim за 1958–2017 гг. Для анализа широтного положения и скорости ветра струйного течения использовался уровень 200 гПа, поскольку именно на нем наблюдаются максимальные скорости западных ветров в верхней тропосфере субтропиков в обоих полушариях.

Ряды среднегодовых и сезонных значений широтного положения оси струйного течения и скорости ветра анализировались как в целом для интервала 1958–2017 гг., так и в подынтервалах 1958–1979, 1979–2000 и 2000–2017 гг. отвечающих эпизодам похолодания, потепления и стабилизации температуры. Дополнительно мы выделили подынтервал 1979–2017 гг. в качестве максимального по продолжительности временного периода, охваченного всеми четырьмя реанализами.

Количественные данные о трендах широтного положения оси струйного течения и скорости ветра помещены в таблице 1. Таблица показывает данные о трендах широты и скорости струйного течения, усредненных по кругу широты (все меридианы), а также отдельно для Восточного полушария (0° - 180° в.д.) и Западного полушария (180° - 0° з.д.).

Таблица 1. Значения трендов характеристик оси северного ССТ.

Сезон	Временной период	Все меридианы		Восточное полушарие (0° в.д. – 180° в.д.)		Западное полушарие (180° з.д. – 0° з.д.)	
		Тренд положения ССТ, °с.ш. за 10 лет	Тренд скорости ССТ, м/с за 10 лет	Тренд положения ССТ, °с.ш. за 10 лет	Тренд скорости ССТ, м/с за 10 лет	Тренд положения ССТ, °с.ш. за 10 лет	Тренд скорости ССТ, м/с за 10 лет
Зима	1958–2017	0,19	0,27	0,10	0,44	0,29	0,10
	1979–2017	0,19	0,25	0,22	0,40	0,16	0,09
	1958–1979	0,10	0,10	0,08	0,24	0,10	-0,06
	1979–2000	0,26	0,07	0,15	0,46	0,39	-0,32
	2000–2017	0,72	0,61	0,00	0,17	1,45	1,03
Лето	1958–2017	0,17	0,04	0,22	-0,20	0,14	0,29
	1979–2017	0,14	-0,16	0,17	-0,52	0,11	0,19
	1958–1979	0,15	0,37	0,34	1,12	-0,04	-0,38
	1979–2000	0,64	-0,38	0,41	-0,94	0,87	0,18
	2000–2017	-0,24	0,44	0,30	0,29	-0,78	0,60

Из таблицы следует, что в зимний сезон для всего временного интервала 1958–2017 гг. имеют место статистически значимые тренды смещения струйного течения к полюсу. Смещение к полюсу более выражено в Западном, чем в Восточном полушарии, причем эта тенденция проявляется в этом полушарии почти для всех рассматриваемых временных интервалах.

В летний сезон также имеет место тенденция сдвига положения северного ССТ к полюсу, хотя в современный период отмечается незначимая тенденция смещения струи к экватору в Западном полушарии.

Скорость ветра в зимний сезон статистически значимо возрастает для всего временного интервала. В летний сезон скорость ветра статистически значимо возрастает во всем временном интервале в Западном полушарии. Однако, в периоде 1979–2000 гг. скорость ветра значимо снижается в Восточном полушарии.

В докладе обсуждается связь этих изменений с изменениями меридионального градиента температуры верхней тропосферы, а также положением границ ячеек меридиональной циркуляции Хэдли и Ферреля.

ГОЛОЛЕДНО-ИЗМОРОЗЕВЫЕ ЯВЛЕНИЯ НА ТЕРРИТОРИИ ТОМСКОЙ ОБЛАСТИ

Иванова Е.П., Барашкова Н.К., Волкова М.А.
Томский государственный университет (г. Томск)
perriedwards@mail.ru, mv2101@mail.ru

Гололедно-изморозевые явления (гололед, изморозь, отложения мокрого снега) оказывают отрицательное влияние на работу многих отраслей хозяйственного комплекса: связь, железные дороги, энергетику, транспорт. Это влияние часто проявляется в увеличении массы выступающих предметов и их механических разрушений. Гололед – одно из опасных для полетов метеорологических явлений, которое может серьезно осложнить деятельность авиации. При гололеде возникают проблемы при подготовке воздушных судов к полету, а аэродромов – к приему и выпуску самолетов и вертолетов. При отложении льда на поверхности воздушного судна на земле взлет такого судна запрещается. Если же гололед покрывает взлетно-посадочную полосу (ВПП) или рулежные дорожки, то это значительно уменьшает трение колес шасси о бетон, что затрудняет как разбег, так и пробег самолета. При посадке на обледенелую полосу при боковом ветре создается опасность уклонения самолета от нужного направления движения и выкатывания его за пределы ВПП [1].

В данной работе было проведено исследование пространственно–временного распределения гололеда, изморози и отложений мокрого снега на территории Томской области за период с 2013 по 2018 годы. Материалом для исследования послужили данные из штормовых журналов, содержащих данные по гололедно–изморозевым отложениям на 23 станциях Томской области за 2013–2018 гг., предоставленные Томским центром по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды.

В ходе работы было рассчитано число дней и число случаев с атмосферными явлениями, рассмотрен внутригодовой и суточный ход по 23 станциям Томской области. Также была рассчитана непрерывная продолжительность явлений по градациям: ≤ 6 ч, 7–12 ч, 13–24 ч, 25–48 ч, 49–96 ч, >96 ч.

Исследование показало, что изморозь является наиболее часто встречающимся явлением (рис. 1), повторяемость ее составляет 84% всех случаев гололедно-изморозевых явлений. Повторяемость отложений мокрого снега составила 9%, гололеда – 7%.

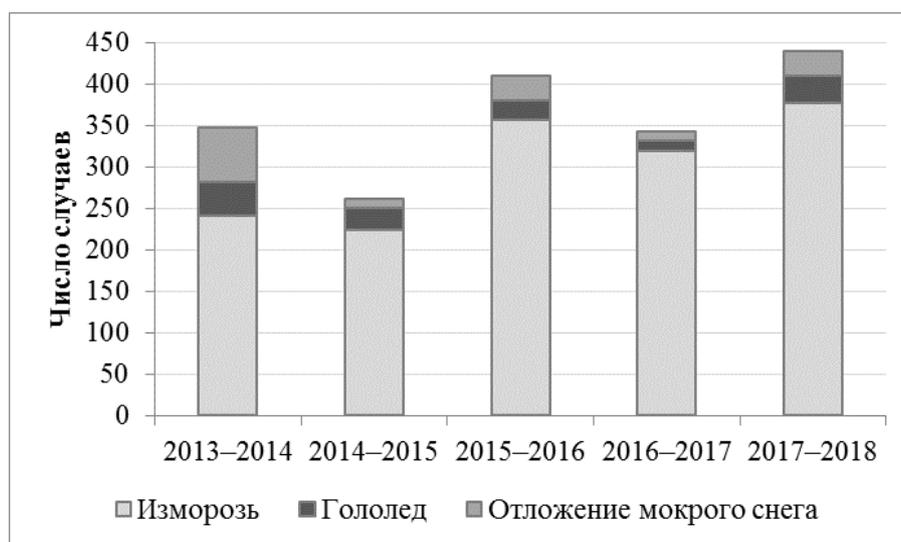


Рисунок 1. Суммарное число случаев с гололедно–изморозевыми явлениями на станциях Томской области за период сентябрь–май.

В период с октября 2017 года по май 2018 наблюдалось наибольшее число (439) случаев гололедно-изморозевых явлений. В течение года изморозь чаще всего наблюдается в январе-феврале и в ноябре, отложения мокрого снега в октябре-ноябре и марте, гололеда – в период с октября по декабрь. В суточном ходе максимум повторяемости случаев изморози приходится на промежуток с 12 до 18 часов поясного декретного времени (ПДВ), гололед и отложения мокрого снега не имеют выраженного суточного хода.

Пространственное распределение среднего годового числа дней с явлениями показало, что изморозь изменяется по территории в широком диапазоне от 2 дней на станции Усть-Озерное до 47 дней на станции Александровское. Повышенные значения числа дней с изморозью наблюдаются в северной части и на юго-западе Томской области. Отложения мокрого снега наиболее часто отмечались на севере и юго-востоке области (на станциях Александровское и Первомайское среднее годовое число дней с явлением составило 7 и 6 дней соответственно. В центральной части, как и на северо-востоке и юго-западе отложения мокрого снега наблюдаются гораздо реже – в среднем 1,5 дня. Гололед чаще всего был зафиксирован в северной части области (на станциях Каргасок 3,7 дня, Александровское и Новый Васюган 3,2 дня). В направлении к югу число дней с гололедом уменьшается до одного дня за год и менее, на станциях Батурино, Тегульдет и Усть-Озерное гололед не был зафиксирован за рассмотренный период.

Оценка продолжительности явлений показала, что наиболее часто встречающаяся непрерывная продолжительность отложений изморози находится в диапазоне 7–12 часов, гололеда и отложений мокрого снега – в пределах 6 часов (рисунок 2).

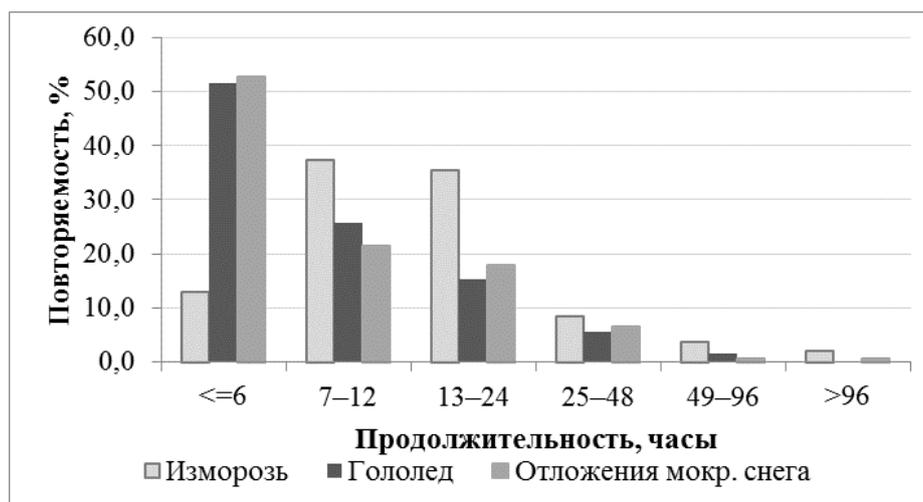


Рисунок 2. Непрерывная продолжительность случаев с гололедно-изморозевыми явлениями.

Таким образом, гололедно-изморозевые явления наиболее часто образуются на станциях, расположенных в северной части области (Александровское, Напас и Средний Васюган). В непосредственной близости от этих станций располагаются два аэропорта – Стрежевой и Пионерный. Наземные службы аэропортов Томской области в период с октября по март должны быть готовы обслуживать авиацию в условиях наличия гололедно-изморозевых явлений.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант 18-45-700010 ра).

1. Богаткин О.Г. Авиационная метеорология. СПб.: Изд-во РГГМУ, 2005. 328 с.

ОСОБЕННОСТИ ИЗМЕНЧИВОСТИ ХАРАКТЕРИСТИК АТМОСФЕРНЫХ ОСАДКОВ НА ТЕРРИТОРИИ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ ПО РАЗНЫМ БАЗАМ ДАННЫХ

Какуркина О.Ю.¹, Харюткина Е.В.², Мартынова Ю.В.²

¹ Томский государственный университет (г. Томск)

² Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН (г. Томск)

Kakurkina.oxana@yandex.ru, kh_ev@mail2000.ru

Атмосферные осадки являются главной водной составляющей всех типов природных и подземных вод. Они, как продукты конденсации и сублимации водяного пара в атмосфере являются важным климатическим параметром, определяющим режим увлажнения на планете. Нередко, атмосферные осадки приводят к возникновению экстремальных погодных явлений со значительными материальными ущербами [1]. Поэтому оценка трендов количества, продолжительности и интенсивности осадков имеет важное значение. Так как физико-географическое положение Западной Сибири обуславливает ряд особенностей, она представляет большой практический интерес для исследования изменчивости характеристик атмосферных осадков данного региона.

Целью работы является исследование изменений характеристик атмосферных осадков на территории Западной Сибири с 1979 по 2015 гг. по разным базам данных, а также их сравнительный анализ.

В качестве исходных данных использовались следующие источники:

Название набора данных	Временной интервал	Пространственное разрешение данных	Источник
Данные наблюдений			
ВНИИГМИ-МЦД	1979-2015		http://meteo.ru
Данные моделирования			
Aphrodite-1	1901-2007	0,25°x0,25°	http://www.chikyu.ac.jp/precip/
Aphrodite-2	1951-2007	0,25°x0,25°	http://www.chikyu.ac.jp/precip/
GPCC Full Data Reanalysis Version 5	1901-2009	0.5°x0.5°	https://www.researchgate.net/publication/
GPCC_V2018	1891-2016	0.5°x0.5°	https://www.esrl.noaa.gov/psd/data/gridded/
ERA-Interim	1979-2016	1,125°x1,125°	http://www.ecmwf.int/en/research/climate-reanalysis/era-interim

Поскольку данные наблюдений и реанализов представлены за разные периоды времени, для удобства дальнейшего анализа было бы целесообразно привести их к одному временному интервалу. Таким образом, был выбран интервал с 1979 по 2007 гг.

Выявлено, что максимальные годовые суммы осадков наблюдаются у реанализа ERA-Interim, минимальные – у Aphrodite 2 (рис. 1). Значения, полученные путем моделирования, значительно отличаются друг от друга, за исключением реанализов GPCCVersion 5 и GPCC_V2018, для которых получены близкие оценки.

При этом значительное расхождение данных реанализа с данными наблюдений в южной части Западной Сибири (ст. Кош-Агач), что, возможно, обусловлено горным рельефом местности.

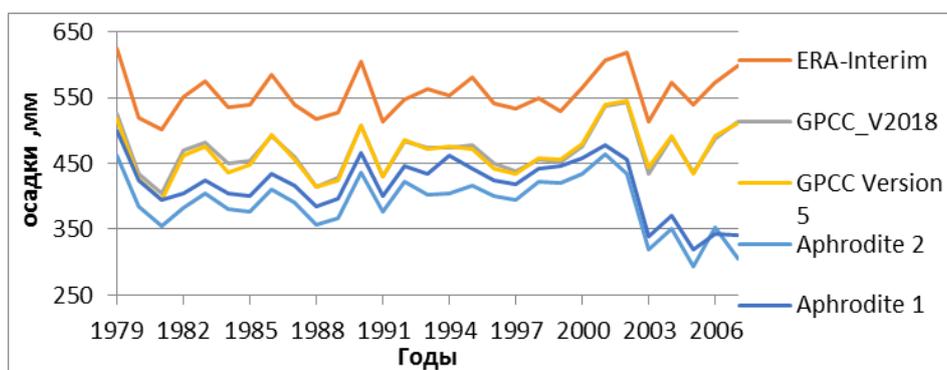


Рисунок 1. Годовые суммы осадков по данным реанализа за 1979-2007 гг.

Практический интерес рассматриваемой территории представляет ярко выраженная смена времен года, поэтому межгодовая изменчивость рассмотрена на примере зимнего, весеннего, летнего и осеннего сезонов года, а также теплого/холодного периодов. Согласно построенному межгодовому ходу сезонных оценок количества осадков (рис. 2), во все сезоны наблюдаются завышенные значения для реанализа ERA-Interim. Это особенно выражено весной. При этом оценки, полученные по Aphrodite 1 и Aphrodite 2, значительно ниже значений, представленных в других рассматриваемых базах данных. Наибольшее согласие с данными наблюдений наблюдается для данных реанализа GPCC_V5 и GPCC_V2018 ($r=0,96$).

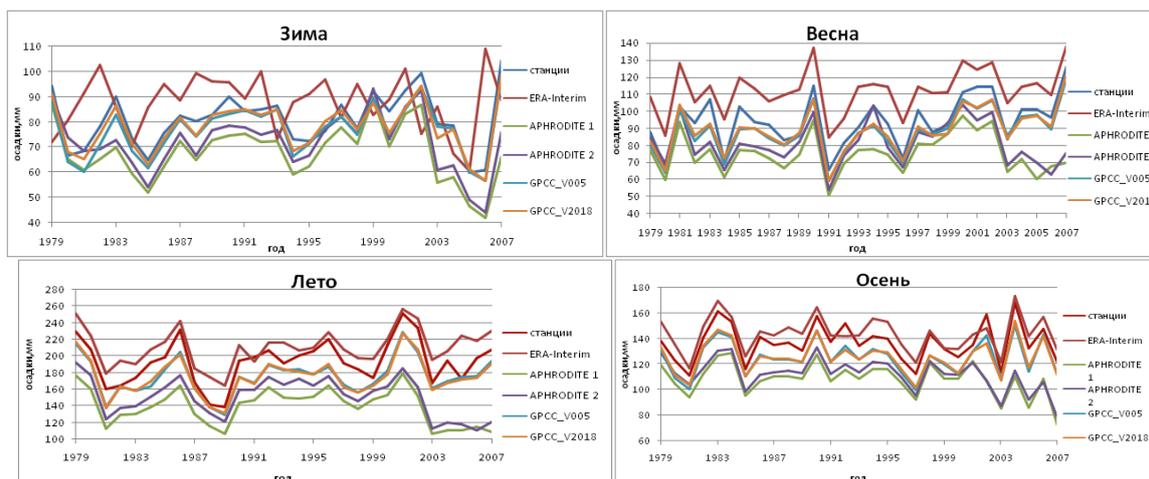


Рисунок 2. Межгодовой ход сезонных оценок количества осадков для Западной Сибири по данным реанализов и наземным наблюдениям за период 1979-2007 гг.

Таким образом, в целом, рассмотренные в работе оценки количества осадков, полученных по данным наблюдений и данным реанализа хорошо согласуются друг с другом, что говорит о возможности использования последних для оценки тенденций изменения климата в регионе Западной Сибири.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке РФФИ и администрации Томской области в рамках научного проекта № 18-45-703014.

1. Шарапова А.А, Кужевская И.В, Каштанова К.А, Поляков Д.В. Характеристики экстремальных осадков на территории Западной Сибири // Географический вестник. Geographicalbulletin 2017. С 88-98.

ГОЛОЛЕДНЫЕ ЯВЛЕНИЯ НА ТЕРРИТОРИИ ТОМСКОЙ ОБЛАСТИ В СОВРЕМЕННЫЙ ПЕРИОД

Кижнер Л.И., Пичугина Т.Н.

Томский государственный университет (г. Томск)
kdm@mail.tsu.ru, tatyana.pich97@mail.ru

Общие положения.

В последние годы существенно вырос ущерб от опасных метеорологических явлений. Гололедно-изморозевые явления (ГИО) в зимний период оказывают значительное влияние на работу промышленных предприятий, сельское хозяйство, автотранспорт, авиацию. Основными последствиями образования гололедных отложений являются:

- 1) уменьшение сцепления колес автотранспортных средств с поверхностью дорожного покрытия;
- 2) увеличение веса элементов промышленных, транспортных конструкций за счет массы осевшего льда и увеличение за счет этого механических нагрузок;
- 3) изменение аэродинамических характеристик объектов за счет покрытия их слоем ГИО.

На практике гололедно-изморозевые отложения могут привести к разрыву проводов линий электропередач (ЛЭП), неисправности опор ЛЭП, автомобильным авариям и авиакатастрофам, обламыванию сучьев деревьев и другим неблагоприятным последствиям. В связи с этим важным является, кроме оперативного обеспечения информацией о ГИО хозяйствующих подразделений и населения, изучение климатических изменений характеристик гололедных явлений. Важной задачей является всестороннее исследование явлений с целью оценки формируемых ими нагрузок в разных климатических зонах при проектировании и эксплуатации линий электропередач и связи, контактных электрических сетей железнодорожного, городского и других видов транспорта, высотных сооружений и конструкций и т.д.

В настоящее время к гололедно-изморозевым явлениям относятся разные отложения на проводах гололедного станка [1]: гололед; зернистая изморозь; кристаллическая изморозь; отложение мокрого снега. Гололедица («скользящая дорога») – это отложение льда на горизонтальной поверхности: дорожном полотне, крыше домов, тротуарах, почве. Образуется на поверхности земли вследствие оттепели или от дождя при резком похолодании или при таянии снежного покрова или льда из-за резкого потепления. Гололедицей является также утрамбованный ногами и шинами автомобилей снег и снежная каша (снег с водой), а также замерзшие лужи.

В работе рассмотрены гололедно-изморозевые явления на территории Томской области за период 2000–2017 гг. Используются наблюдения по 8 станциям: Колпашево, Бакчар, Первомайское, Томск, Усть-Озерное, Пудино, Средний Васюган, Напас, полученные из архива ВНИИГМИ-МЦД. Станции имеют длительный ряд наблюдений, и за рассматриваемый период ни одна из них не переносилась на другое место, поэтому ряды наблюдений можно считать однородными. В Архиве представлены 4 вида ГИО: гололед, зернистая, кристаллическая изморозь, гололедица. Наблюдения за гололедицей производятся регулярно только на станции Первомайское.

Результаты.

За 18-летний период наблюдений явления наблюдались в холодный период года с ноября по апрель.

Представлено суммарное число дней по годам всех явлений и отдельно по видам явлений. Наблюдается неравномерное распределение ГИО по годам, а также по территории, практически не связанное с расстоянием между станциями. Больше всего явлений зафиксировано на станциях Колпашево, Бакчар, Напас. Наименьшее количество дней отмечается на станции Усть-Озерное.

Наибольшее число дней с явлением на каждой станции наблюдается в разные годы. Показана существенная изменчивость числа дней с явлениями во времени и по территории.

Рассчитаны средние за период значения числа дней с ГИО.

Выполнено сравнение полученных данных с данными Справочника [2] за период 1951–1985 гг. (Таблица 1).

Таблица 1. Сравнительные данные по среднему и наибольшему числу дней с гололёдными отложениями

Станции	Среднегодовое число дней с обледенением проводов гололедного станка		Наибольшее число дней с обледенением проводов гололедного станка	
	Данные Справочника	2000–2017 гг.	Данные Справочника	2000–2017 гг.
Колпашево	30,6	54,2	74	82
Бакчар	40,3	50,2	80	78
Первомайское	14,2	21,7	53	27
Томск	41,0	21,6	89	42
Напас	23,5	43,0	104	74
Средний Васюган	23,2	24,9	55	55
Усть-Озерное	19,3	5,6	69	20
Пудино	15,6	10,1	54	24

За последние годы *среднее число дней* с гололедными явлениями возрастает на станциях Напас, Колпашево, Бакчар, Первомайское. На станциях Томск, Усть-Озёрное, Пудино и среднее, и *наибольшее число дней* с обледенением уменьшилось.

Рассмотрена непрерывная продолжительность кристаллической изморози и гололедицы.

По данным станции Первомайское, в 76% случаев гололедица непрерывно наблюдается примерно 5 суток. Число случаев более длительного, а также короткого по продолжительности явления быстро уменьшается.

Наиболее часто (76% случаев) непрерывная продолжительность кристаллической изморози составляет примерно 1 сутки, наибольшая непрерывная продолжительность явления составила примерно 10 суток.

Наиболее часто наблюдались ГИО умеренной интенсивности.

Основные выводы:

- в последние годы существенно увеличился разброс числа дней с ГИО по территории;
- в Томске ситуация по гололедным явлениям за последний период улучшилась – уменьшилось среднее и наибольшее число дней с обледенением примерно в 2 раза.

Работа выполнена в рамках гранта РФФИ № 18-45-700010 ра.

1. Наставление гидрометеорологическим станциям и постам. Вып. 3. Ч. 1. Л.: Гидрометеиздат, 1985. 301 с.

2. Научно-прикладной справочник по климату СССР. Серия 3. Многолетние данные. Вып. 20. Ч. 5. Облачность, атмосферные явления, гололедно-изморозевые образования. СПб.: Гидрометеиздат, 1993. 720 с.

ПРОГНОЗ ТЕМПЕРАТУР И ОСАДКОВ АЛТАЕ-САЯНСКОЙ ГОРНОЙ СТРАНЫ С ГОДОВОЙ ЗАБЛАГОВРЕМЕННОСТЬЮ

Кирста Ю.Б., Ловцкая О.В.

Институт водных и экологических проблем СО РАН (г. Барнаул)

kirsta@iwep.ru

Алтае-Саянская горная страна является частью мирового водораздела между гумидной областью Северного Ледовитого океана и аридной бессточной областью Центральной Азии. Она является горным водосборным районом для таких крупных рек Сибири как Обь и Иртыш. Для гор характерна сложная вертикальная и горизонтальная дифференциация климатических полей. Анализ этих полей трудоемок и часто невозможен из-за отсутствия достаточного количества метеостанций. Разработанный ранее метод нормировки и пространственного обобщения среднемесячных температур приземного слоя воздуха и месячных осадков учитывает такую дифференциацию опосредованно [1]. Он основывается на описании этих факторов в процентах от их среднемноголетних месячных значений *in situ* и обеспечивает адекватную оценку их многолетней помесечной динамики. Эта динамика одинакова для всей исследуемой территории и не зависит от высоты или экспозиции ее участков.

Нами разработана методика статистического прогноза нормированных среднемесячных температур воздуха и месячных осадков на год вперед для горных территорий. Для прогноза достаточно данных наблюдений нескольких реперных метеостанций (в нашем случае 11) по территории страны за 6-7 лет.

Предложен универсальный критерий для определения качества различных прогнозных методов, включая те, для которых известные показатели RSR и Нэша–Сатклиффа NSE не применяются. С его помощью оценено качество выполненных прогнозов температур и осадков, оказавшееся близким к теоретически наилучшему.

Для получения нормированных температур воздуха и осадков их месячные значения за каждый год пересчитывались нами в проценты относительно среднемноголетней величины за определенный месяц. Статистические оценки показали, что наилучшее/наименьшее стандартное отклонение у нормированных температур воздуха в среднем по реперным метеостанциям дают январь (для холодного периода) и июль (для теплого). У нормированных значений осадков для всех месяцев года это оказался июль. Усреднение полученных значений по 11 метеостанциям для каждого месяца и года дало пространственно обобщенную многолетнюю помесечную динамику исследуемых факторов, единую для всей горной страны. Отметим, что обратный переход от нормированных к общепринятым единицам измерений метеорологических величин (°C и мм) осуществляется через умножение на среднемноголетние январские и июльские значения температур воздуха и осадков для конкретного участка.

Затем нами выполнялся прогноз нормированных среднемесячных температур воздуха и месячных осадков с годовой заблаговременностью по их среднемноголетним значениям за предшествующие годы. В качестве последних последовательно использовались 1, 2, 3, ..., 33-летние скользящие периоды в пределах 1984–2016 гг. Оценка точности получаемых прогнозов осуществлялась по предложенному критерию адекватности математических моделей и методов прогноза A [1]:

$$A = S_{\text{разн}} / \sqrt{2} S_{\text{набл}}, \quad (1)$$

где $S_{\text{разн}}$ – стандартное (среднеквадратичное) отклонение невязки (разности значений прогнозируемого и наблюдаемого рядов данных), $S_{\text{набл}}$ – стандартное отклонение для наблюдаемого ряда, $1/\sqrt{2}$ – множитель. Так как для прогноза применяются среднемноголетние величины, то средние значения прогнозного и наблюдаемого рядов будут практически одинаковыми. Поэтому средняя величина невязки (постоянное завышение или занижение прогноза) будет пренебрежимо мала по сравнению с $S_{\text{разн}}$, что позволяет применять критерий A для объективной оценки качества прогноза.

Согласно (1) значения A могут меняться от нуля до единицы и выше: близкие к 0 – это идентичность рядов и «абсолютная» точность прогноза; $1/\sqrt{2} = 0.71$ – пороговое значение, при котором используемое для прогноза среднееголетнее значение характеристики совпадает с фактической среднееголетней для прогнозируемых лет, то есть выполняется *наилучший прогноз по среднееголетней величине*. Интервал $A=0.71 \div 1$ характеризует различную степень адекватности прогнозируемых по среднееголетней величине и наблюдаемых значений характеристики с наилучшим прогнозом при $A \approx 0.71$.

Нами выделены четыре периода/сезона, отражающие особенности метеорологической и гидрологической обстановки на территории Алтае-Саянской горной страны: первый (зимняя межень, XII-III месяцы), второй (весенне-летнее половодье, IV-VI), третий (летняя межень, VII-VIII), четвертый (осенняя межень с возможными паводками, IX-XI). Значения критерия A , характеризующие качество прогнозов по каждому сезону, быстро уменьшаются с увеличением скользящего периода осреднения (рис. 1). Уже при 6-7-летней длине последнего критерий A приближается к наилучшему значению 0.71. С дальнейшим увеличением периода осреднения A стабилизируется около 0.73. Таким образом, для адекватного прогноза нормированных температур и осадков с годовой заблаговременностью достаточно 6-7 лет наблюдений вместо 30-летнего периода, рекомендуемого ВМО [2].

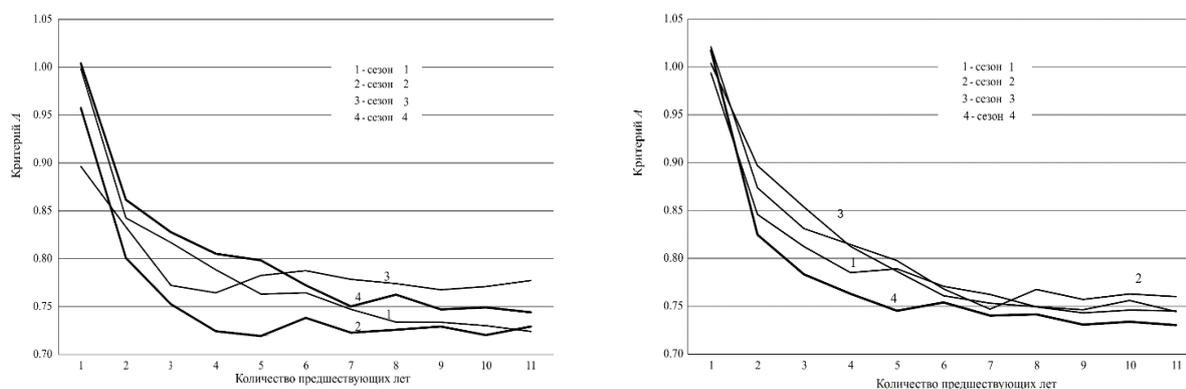


Рисунок 1. Критерий A для прогнозных значений нормированных среднемесячных температур (слева) и месячных осадков (справа) по четырем сезонам 1984-2016 гг. в зависимости от количества используемых для осреднения предшествующих лет.

Критерий A связан с известным показателем качества моделей RSR и коэффициентом Нэша-Сатклиффа NSE : $RSR = A\sqrt{2}$ и $NSE = 1 - RSR^2 = 1 - 2A^2$. При полученных значениях $A \approx 0.74$ получаем, что $RSR = 1.0$ и $NSE = -0.1$, то есть RSR и NSE не пригодны для оценки качества прогнозов по среднееголетнему значению.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант №18-45-220019 p_a).

1. Кирста Ю.Б. Пространственное обобщение климатических характеристик для горных территорий // Мир науки, культуры, образования. 2011. № 3 (28). С. 330-337.

2. WMO: Calculation of monthly and annual 30-year standard normals, WCDP – No. 10 (WMO-TD/No. 341), Geneva, 1989. – 11 pp.

ФОРМИРОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМА ПОЧВ В ЕСТЕСТВЕННЫХ И АНТРОПОГЕННО НАРУШЕННЫХ УСЛОВИЯХ

Киселев М.В.¹, Воронай Н.Н.^{1,2}, Дюкарев Е.А.^{1,3}

¹ Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН (г. Томск)

² Институт географии им. В.Б. Сочавы СО РАН (г. Иркутск)

³ Югорский государственный университет (г. Ханты-Мансийск)

xplutox@yandex.ru

Климат почвы принято понимать, как многолетний режим температуры и влажности почвы и их географическое распределение, зависящее от комплекса природных факторов и деятельности человека. Температура и влажность почвы являются ключевыми факторами, контролирующими многие биотические и абиотические процессы, протекающие в минеральных и торфяных почвах [1].

К природным условиям формирования и развития почвенного климата относят: атмосферный климат, высоту над уровнем моря, рельеф и экспозицию склонов, геологическое строение, растительный и снежный и другие покровы, уровень грунтовых вод, близость рек и водоемов и др.

К антропогенным – вырубку леса, распашку, сооружение оросительных или дренажных систем, прокладку дорог, трубопроводов и прочих объектов инфраструктуры и др. [2].

Исследование проводилось на 12 экспериментальных площадках (минеральные и органические почвы): десять площадок на территории Тункинской котловины с разной степенью антропогенного вмешательства [3], две площадки на территории геофизического стационара «Васюганье».

На площадках проводились измерения температуры почвы на 14 глубинах от поверхности до 320 см при помощи атмосферно-почвенного измерительного комплекса [4] в период с 11 сентября 2011 года по 10 сентября 2018 года (2384 дня) с временным шагом 1 час. Погрешность измерения температуры $\pm 0,1^{\circ}\text{C}$.

Для оценки антропогенно воздействия на температурный режим из 12 экспериментальных площадок составили 6 пар, максимально близких друг к другу по типу растительности и почвы.

Сведение или повреждение растительного покрова в результате антропогенного вмешательства или природных факторов приводит к изменению количества приходящей и уходящей солнечной радиации. Это в свою очередь напрямую воздействует на температурный режим, как в теплый, так и в холодный период.

Так, например, на минеральных антропогенно нарушенных участках (гарь, разнотравный луг, залежь) максимальная глубина залегания изотермы $+10^{\circ}\text{C}$ составляет 170, 140 и 100 см, соответственно. А на естественных участках (сосновый лес, восстанавливающийся сосновый лес, еловый лес) максимальная глубина залегания изотермы $+10^{\circ}\text{C}$ составляет 95, 130 и 20 см, соответственно.

Сведение лесного покрова также может способствовать увеличению глубины промерзания, и увеличению отрицательных температур в 20-30 см слое почвы. Например, на антропогенно нарушенном участке гарь и разнотравный луг глубина промерзания составляет примерно 280 и 205 см, при этом минимальная температура на поверхности $-15,2^{\circ}\text{C}$ и $-11,7^{\circ}\text{C}$, соответственно. В то время как на естественном участке сосняк-брусничник и восстанавливающийся сосновый лес глубина промерзания составляет примерно 300 и 180 см, минимальная температура почвы на поверхности $-13,6^{\circ}\text{C}$ и $-6,2^{\circ}\text{C}$, соответственно.

На территории Тункинской котловины расположены участки с многолетнемерзлыми грунтами. Так после антропогенного вмешательства и сведения елового леса на одном из участков (залежь) многолетняя мерзлота деградировала со 130 см значительно глубже 320 см. При этом грунт в слое 240-320 см прогревается до $2-5^{\circ}\text{C}$. В холодный период на участке

залежь минимальная температура почвы стала ниже на поверхности $-11,3^{\circ}\text{C}$. В то время как на участке ельник минимальная температура почвы на поверхности $-4,1^{\circ}\text{C}$.

На участках с органической почвой антропогенное вмешательство выражается в создание искусственных мелиоративных каналов, которые могут, как уменьшать уровень болотных вод, так и увеличивать. На многолетнемерзлом антропогенно нарушенном осоковом переходном болоте глубина протаивания в летний период уменьшается до 60-70 см за счет увеличения уровня болотных вод. Тогда как на естественном осоковом болоте глубина протаивания составляет 80-90 см. В зимний период на антропогенно нарушенном участке минимальная температура почвы выше, чем на естественном участке и составляет $-6,2^{\circ}\text{C}$ на поверхности и $-0,7^{\circ}\text{C}$ на глубине 60 см. На естественном участке минимальная температура почвы $-12,6^{\circ}\text{C}$ на поверхности и $-3,7^{\circ}\text{C}$ на глубине 60 см.

На территории стационара «Васюганье» создание мелиоративного канала наоборот привело к осушению прилегающих территорий. Таким образом, на сезонно-мерзлом антропогенно нарушенном участке (осушенный низкий рям) почва прогревается хуже и в среднем осушенный участок болота холоднее естественного на глубинах до 80 см на $4,0^{\circ}\text{C}$, а на глубинах 120-240 см на $2,5^{\circ}\text{C}$. Максимальное количество дней, когда наблюдалась изотерма $+15^{\circ}\text{C}$ на антропогенно нарушенном участке составляет 16 дней на поверхности, 4 дня на 10 см и ниже не наблюдается. В то время как, на естественном участке изотерма $+15^{\circ}\text{C}$ составила 57 дней на поверхности, 42 дня на глубине 10 см и 19 дней на 20 см.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта №18-05-00306.

1. Шульгин А.М. Климат почвы и его регулирование. Л.: Гидрометеиздат, 1967. 300 с.
2. Головацкая Е.А., Дюкарев Е.А., Ипполитов И.И., Кабанов М.В. Влияние ландшафтных и гидрометеорологических условий на эмиссию CO_2 в торфоболотных экосистемах // Доклады Академии Наук. 2008. №4. С.1-4.
3. Силаев А.В. Оценка нарушенности территории Тункинской котловины с использованием ГИС-технологий. Экологический риск / Материалы IV Всероссийской научной конференции с международным участием (г. Иркутск, 18-21 апреля 2017г.). – Иркутск: Издательство Института географии им. В.Б. Сочавы СО РАН, 2017. С. 111-113.
4. Kiselev M.V., Voropay N.N., Dyukarev E.A., Kurakov S.A., Kurakova P.S., Makeev E.A. Automatic meteorological measuring systems for microclimate monitoring // IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science. 2018. №190. 012031. doi:10.1088/1755-1315/190/1/012031.

ПОГОДНЫЕ ЭКСТРЕМУМЫ В СИБИРИ В 2019 Г. И ИХ СВЯЗЬ С ЦИРКУЛЯЦИЕЙ АТМОСФЕРЫ

Кононова Н.К.

Институт географии РАН (г. Москва)

NinaKononova@yandex.ru

По циркуляционным сезонам [1] по данным сайта «Новости погоды» [4] рассмотрены экстремумы на Азиатской территории России за 1 января – 15 июля 2019 г.: суточные максимумы и минимумы температуры воздуха, максимальные суточные амплитуды температуры воздуха, суточные максимумы и месячные минимумы атмосферных осадков, суточные максимумы скорости ветра, максимальная и минимальная высота снежного покрова и опасные метеорологические явления.

Циркуляционный сезон зимы в Сибирском секторе в 2019 г. кончился 26 февраля, предвесенье - 1 апреля, весна - 25 мая, 15 июля закончилась первая половина лета. Приводим наиболее яркие экстремумы первого полугодия текущего года (табл. 1).

Таблица 1. Абсолютные суточные максимумы температуры воздуха, установленные в 2019 г.

Дата	Метеостанция, регион	Максим. 2019	Прошлый максим.	Год
22 января	Охотск, Хабаровск. край	-1,4	-1,7	1935
22 февраля	Тимирязевское, Прим. кр.	8,3	5,2	1919
3 марта	Владивосток, Прим. край	10,6	8,7	1998
12 апреля	Тобольск, Тюменск. обл.	19,6	18,9	1998
9 июня	Сыктывкар, респ. Коми	30,3	29,9	1989
10 июля	Шелагонцы, Якутия	31,9	31,6	2001

Приведенные примеры относятся к разным регионам Азиатской части России и циркуляционным периодам [2]. Экстремумы распределились неравномерно (табл. 2, 3).

Таблица 2. Количество превзойдённых максимумов по периодам циркуляции.

Периоды	Случаи
1899–1915	0
1916–1956	44
1957–1969	34
1970–1980	33
1981–1998	71
1999–2018	101
Всего	283

Таблица 3. 14 регионов с наибольшим количеством превзойдённых максимумов.

Регион	Случаи	Регион	Случаи
Якутия	37	Иркутская обл.	15
Приморский край	30	Магаданская об.	13
Чукотка	29	Амурская обл.	10
Красноярский край	22	Бурятия	9
Забайкальский кр.	21	Эвенкия	9
Хабаровский край	16	Сахалин	8
Камчатка	16	Ямало-Ненецкий АО	8

Больше всего суточных максимумов температуры воздуха, превзойдённых в 2019 г., пришлось на XXI век (табл. 2) и на Якутию (табл. 3).

Из суточных минимумов температуры в 2019 г. перекрыто 126. Наибольшее количество зимой (6 случаев) пришлось на период 1957-1969 гг., когда отмечался рост продолжительности блокирующих процессов, один из которых обязательно приходится на Азиатскую часть России. По регионам наибольшее количество зимой (15) пришлось на самый холодный регион России, Якутию, хотя морозы (-20.6°) отмечались и 24 мая.

Самая большая разность с предыдущим максимумом ($6,9^{\circ}$) отмечалась 2 марта на станции Нерчинский завод, а в Иркутске 17 марта перекрыт максимум, державшийся 132 года

Экстремальное количество осадков выпало 25–27 июня в Тулуне Иркутской области – 3,7 месячной нормы, что стало причиной катастрофического наводнения. Подтоплено более 10 тысяч (!) домов в 98 населенных пунктах Иркутской области. По данным на 11 июля, погибло 25 человек.

14 марта в Ханты-Мансийске выпало 20 мм осадков, что при месячной норме 27 мм составило почти 75% нормы, а за 1–15 марта выпало 56 мм осадков, что превысило двухмесячную норму. 27 мм (65% месячной нормы) выпало 19 мая в Магадане.

Отрицательным экстремумом осадков отличился Владивосток. За всю зиму там выпало меньше 1 мм осадков, снежный покров так и не сформировался. На арктическом побережье Якутии в декабре 2018 г. выпало 2–5 мм осадков, что составляет 10–30% месячной нормы.

Высота снежного покрова 6 июня на Ямале – 25 см, на о. Диксон 11 июня – 50 см.

Ураганскими скоростями ветра отличились Чукотка и Камчатка. На Чукотке 10 января – 36 м/с, 28 марта – 38 м/с. В Петропавловске-Камчатском 22 марта скорость ветра 38 м/с, 1 мая – 42 м/с.

Суточная амплитуда температуры была наибольшей 18 февраля в Забайкалье: в Чите $21,2^{\circ}$, на метеостанции Петровский завод – $28,5^{\circ}$, на метеостанции Чара – 16° .

В поселках под Новосибирском, в Советском районе, в ночь на 5 апреля стала прибывать вода. Затопило участки и хозяйственные постройки, дома. Наводнение пришло в Советский район из-за очень теплой весны. Снег таял очень быстро, а воде некуда было уходить. Неблагоприятная паводковая ситуация сложилась в Советском, Первомайском и Кировском районах Новосибирска.

В Забайкалье, в Бурятии, 15 апреля поднялась пыльная буря. Осадков перед этим за 2 недели выпало менее 1 мм, а скорость ветра достигала 25 м/с. По тем же причинам в первой половине апреля в ряде районов Забайкалья сложилась чрезвычайная пожарная опасность. 17 апреля природные пожары подошли к границе с Китаем. К началу мая отсутствие осадков и порывистый ветер усугубили пожарную опасность. К 18 мая пожары охватили уже 4,6 га на Дальнем Востоке.

Рост числа погодных экстремумов в XXI веке связан с увеличением межширотного обмена воздушных масс, что отражается в частой смене типов циркуляции [2, 3] и погоды.

Работа выполнена в рамках Программы фундаментальных исследований Института географии РАН, проект №. 0148-2019-0009.

1. Колебания циркуляции атмосферы Северного полушария в XX – начале XXI века [Электронный ресурс]. Режим доступа: www.atmospheric-circulation.ru

2. Кононова Н.К. Типы глобальной циркуляции атмосферы: результаты мониторинга и ретроспективной оценки за 1899-2017 гг. // Фундаментальная и прикладная климатология, 2018, вып. 3, с. 108 – 123. DOI: 10.21513/2410-8758-2018-3-108-123.

3. Кононова. Н.К., Черенкова Е.А. Повторяемость элементарных циркуляционных механизмов в атмосфере Северного полушария // Известия РАН, 2018, № 6, с. 17 - 25.

4. Новости погоды [Электронный ресурс] Режим доступа: www.meteonovosti.ru

ТЕМПЕРАТУРНЫЙ РЕЖИМ ОЛИГОТРОФНЫХ ТОРФЯНЫХ ПОЧВ НА ЮГЕ И СЕВЕРЕ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

Коронатова Н.Г.

Институт почвоведения и агрохимии СО РАН (г. Новосибирск)

koronatova@issa-siberia.ru

Западная Сибирь – огромная заболоченная низменность, где болота занимают более 1 млн.км² (Yefremov, Yefremova, 2001) и содержат 26% от глобального запаса почвенного органического углерода (Smith et al., 2004), что делает изучение температурного режима торфяных почв на территории Западной Сибири актуальной темой исследования. В лесотундре и северной тайге Западной Сибири преобладают мерзлотные бугристые болота; в средней и южной тайге – олиготрофные сфагновые болота; в лесостепи, в зоне распространения евтрофных травяных болот, встречаются рямы – верховые олиготрофные сосново-кустарничково-сфагновые болота небольшой площади (Романова, 1985). Изучение температурного режима торфяных олиготрофных почв проводили в лесостепной зоне (урочище «Николаевский рям» или «Ипатиха»), в южнотаёжной подзоне (болотный комплекс «Бакчарское болото»), в северотаёжной подзоне (болотный комплекс «Тету-Мамонтотяй») и в зоне лесотундры (болотный комплекс «Пангоды»). Регистрация температуры осуществлялась с помощью автономных измерителей почвенной температуры АИПТ (Томск, ИМКЭС СО РАН) на глубинах 2, 5, 10, 15, 20, 30, 40, 60, 80, 120, 160, 240 и 360 см от поверхности мохового ковра с периодичностью 1 раз в час. Наибольшая глубина фиксации температуры различалась на ключевых участках в зависимости от мощности торфяной залежи, а также от глубины сезонного протаивания в северных мерзлотных болотах, и была максимальной в лесостепном ряме (360 см) и минимальной в мерзлотных буграх в северной тайге и лесотундре (60 см). Температуру не фиксировали в подстиляющих минеральных породах и в толще торфа с многолетней мерзлотой. Во всех перечисленных болотных комплексах автоматические регистраторы температуры устанавливали в повышенных более дренированных (рям, гряда, мерзлотный бугор) и пониженных обводнённых (сплавина, мочажина, топь) болотных экосистемах.

Средняя годовая температура по всему почвенному профилю повышенных болотных экосистем составила 4,3°C в лесостепи, 4,0°C в южной тайге, 1,6°C в северной тайге и -0,9°C в лесотундре. В отличие от повышенных экосистем, в пониженных средняя годовая температура профиля имела большие значения, снижаясь от 4,7°C в топи южной тайги до 1,3°C в мочажине лесотундры. Годовая амплитуда температур на глубине 20 см характеризует почвенный климат, который можно оценить как мягкий в пониженных экосистемах севера, мягкий и умеренно континентальный в повышенных экосистемах, в соответствии с полученными значениями амплитуды, в то время как для окружающих минеральных почв характерен умеренно-континентальный и континентальный климат (Димо, 1972).

Различные температурные показатели, полученные на глубине 20 см, характеризуют почвенный климат, который важен для функционирования биоты, поскольку в поверхностном слое сосредоточены микроорганизмы, грибы, корни растений. С продвижением с юга на север происходило снижение на этой глубине средней годовой температуры, средней температуры холодного (октябрь-апрель) и тёплого (май-сентябрь) периода, максимальной средней месячной температуры, суммы активных температур (>10°C), суммы положительных температур (>0°C), что обусловлено зональными закономерностями изменения температурного режима торфяных почв, которые наиболее явно проявляются в тёплый период года, как и в минеральных почвах (Трофимова, Балыбина, 2015).

В холодное время года снежный покров частично изолирует теплообмен между почвами и атмосферой (Трофимова, Балыбина, 2015), что нарушает закономерные изменения параметров температурного режима почв с юга на север. Однако, для торфяных почв существенное значение в регулировании температурного режима приобретают также болотные

воды, которые играют наиболее важную роль для огромных болотных пространств таёжной зоны и снижают своё значение в лесотундре в связи с распространением многолетней мерзлоты и в лесостепи в связи с уменьшением площади болот и падением уровня болотных вод. Отепляющее влияние незамерзающих ниже определённой глубины болотных вод проявляется в холодное время года: в центральной части Западной Сибири получены более высокие значения средней температуры в холодное время года, минимальной средней месячной температуры и суммы отрицательных температур на глубине 20 см, а также более низкие значения степени нагреваемости и охлаждения почв повышенных болотных экосистем и годовой амплитуды, если сравнивать с болотами, расположенными в крайней северной и южной точках трансекта.

В результате исследования выявлены существенные различия между температурными режимами повышенных и пониженных болотных экосистем: торфяные олиготрофные почвы обводнённых понижений имеют более высокие среднегодовые температурные показатели, лучше прогреваются в тёплое время года, значительно меньше остывают в холодное время года, характеризуются более мягким почвенным климатом и имеют более сглаженные различия между ключевыми участками вдоль трансекта.

По сравнению с результатами, полученными для болот, в минеральных почвах (по данным: Димо, 1972; Трофимова, Балыбина, 2015) на глубине 20 см среднегодовая температура ниже на севере и юге территории и выше – в центральной части; максимальная средняя месячная температура выше, чем в повышенных болотных экосистемах, но ниже, чем в пониженных; минимальная средняя месячная температура ниже по сравнению со всеми болотами, за исключением мерзлотных бугров северной тайги и лесотундры; сумма активных температур и годовая амплитуда выше.

1. Yefremov S.P., Yefremova T.T. Stocks and forms of deposited carbon and nitrogen in bog ecosystems of West Siberia // Proceedings of the International Field Symposium “West Siberian Peatlands and Carbon Cycle: Past and Present”. – Novosibirsk, 2001. – P. 148-151.

2. Smith L.C., MacDonald G.M., Velichko A.A., Beilman D.W., Borisova O.K., Frey K.E., Kremenetski K.V., Sheng Y. Siberian peatlands a net carbon sink and global methane source since the Early Holocene // Science. – 2004. – V. 33. – P. 353-356.

3. Романова Е.А. Растительность болот. В кн.: Растительный покров Западно-Сибирской равнины. – Новосибирск: Наука, 1985. – С. 138-161.

4. Димо В.Н. Тепловой режим почв СССР. – М.: Колос, 1972. – 360 с.

Трофимова И.Е., Балыбина А.С. Районирование Западно-Сибирской равнины по термическому режиму почв // География и природные ресурсы. – 2015. – № 3. – С. 27–38.

ИЗМЕНЕНИЕ СУММ АТМОСФЕРНЫХ ОСАДКОВ В ГОРНЫХ УСЛОВИЯХ

Коротченко М.М.¹, Воронай Н.Н.^{2,3}

¹ Томский государственный университет (г. Томск)

² Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН (г. Томск)

³ Институт географии им. В.Б. Сочавы СО РАН (г. Иркутск)

corotchenko.maria@yandex.ru, voronay_nn@mail.ru

Актуальность изучения атмосферных осадков состоит в том, что основой водно-балансовой составляющей всех типов природных вод, а также главным источником естественных ресурсов подземных вод являются атмосферные осадки. Атмосферные осадки постоянно воздействуют на все компоненты окружающей среды, представляют собой неустрашимый фактор и поэтому в теории риска относятся к самой высокой категории. Рельеф вносит наиболее значительные изменения в поле осадков. При этом больше сказывается относительное превышение местности. Количественно влияние рельефа учитывается в зависимости от высоты по склону, открытости и ориентации склонов по отношению к влагонесущему потоку, горизонтальных масштабов возвышенности, общих условий увлажнения района, особенностей атмосферной циркуляции. Методика оценок сводится к определению плювиометрических градиентов [1].

Анализ данных с метеорологических станций Хамар-Дабан, Бабушкин (хр. Хамар-Дабан) и Кара-Тюрек, Усть-Кокса (Горный Алтай) показал, что наибольшее количество осадков выпадает на горной территории, а наименьшее на предгорной местности. В течение года разности между месячными суммами атмосферных осадков на метеорологических станциях Хамар-Дабан и Бабушкин в 7 раз больше разностей на паре станций Кара-Тюрек и Усть-Кокса. Это объясняется тем, что при некоторых условиях, определяемых местом, связанным со степенью континентальности данного горного массива и его ориентацией, осадки увеличиваются до некоторой высоты, где и наблюдается оптимальный уровень (оптимум осадков), а затем их количество уменьшается. В предположении безграничного увеличения высоты местности можно ожидать вторичную зону максимума осадков. Максимальные различия сумм осадков на станциях Хамар-Дабан – Бабушкин зафиксированы в августе, в то время как на станциях Кара-Тюрек – Усть-Кокса в мае.

Проанализировав градиенты сумм атмосферных осадков за отдельные месяцы, теплый и холодный период по данным станций Хамар-Дабан – Бабушкин (хр.Хамар-Дабан) и Кара-Тюрек – Усть-Кокса (Горный Алтай.), сделаны следующие выводы: градиенты на хр. Хамар-Дабан значительно отличаются от градиентов гор Алтая, так как разность между суммами осадков на метеостанциях Хамар-Дабан и Бабушкин больше, чем разность между осадками на станциях Кара-Тюрек и Усть-Кокса. На паре станций Кара-Тюрек – Усть-Кокса часто встречались отрицательные градиенты. Градиент годовых сумм атмосферных осадков в Горном Алтае в 5 раз меньше, градиента сумм атмосферных осадков на хр. Хамар-Дабан. Многолетние изменения градиента годовых сумм атмосферных осадков в Горном Алтае статистически значимы (0,01). Отмечались небольшие статистически незначимые отрицательные скорости изменения градиента у пары станций Хамар-Дабан – Бабушкин в мае, июне, июле и сентябре, а у пары станций Кара-Тюрек – Усть-Кокса в июне и июле (таблица 1). В течение многолетнего периода межгодовая амплитуда колебаний градиента в Хамар-Дабане всегда превышала амплитуду на Алтае, в летние месяцы амплитуда отличалась в 7 раз и более.

Таблица 1. Скорость изменения градиента на хр. Хамар-Дабан и в Горном Алтае (мм/100 м за 10 лет)

Станция	Месяц											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Хамар-Дабан – Бабушкин	0,10	0,16	0,42	0,57	-0,20	-0,40	-0,04	0,23	-0,01	0,25	0,23	0,40
Кара-Тюрек – Усть-Кокса	0,04	0,05	0,03	0,04	0,10	-0,07	-0,00	0,14	0,09	0,15	0,14	0,10

1. Швер Ц.А. Атмосферные осадки на территории СССР / Ц.А. Швер – Л: Гидрометеиздат, 1976, 300 с.

2. Гришин И.С., Сысуев Г.Б. Роль рельефа западных склонов Урала в распределении осадков. / И.С. Гришин, Г.Б. Сысуев – Науч. труды Геогр. о-ва СССР (Обнинское отд.), 1968, сб. 1, ч. 1, С. 54–66.

МЕТОДИКА РАСПОЗНАВАНИЯ ЗОН СИЛЬНЫХ ОСАДКОВ НА ОСНОВЕ СПУТНИКОВЫХ ДАННЫХ

Кужевская И.В., Чурсин В.В.

Томский государственный университет (г. Томск)

ivk@ggf.tsu.ru

В последние несколько лет пристальное внимание привлекают погодные аномалии, возникшие в результате выпадения сильных осадков. На территории юга Западной Сибири отмечается увеличение годовой суммы сильных осадков (выше 95% квантиля) и максимальной в году суточной и пентадной суммы осадков [1, 2], аналогичные выводы приводятся и в работе [3] для территории Европейской части России. Нужно отметить, что атмосферные осадки характеризуются высокой степенью кластеризации в пространстве и во времени, и не формируют классического скалярного поля [4] как другие характеристики атмосферы (температура, давление). Проявлением этой кластеризации являются пространственная неоднородность выпадения ливневых осадков вообще и экстремальных осадков с интенсивностями в десятки раз превосходящими уровень средних значений [5]. Крайне важным является факт того, что степень кластеризации и интенсивность экстремальных осадков во времени могут меняться совершенно иначе, чем средние величины осадков.

Сильные осадки, как правило, связаны с облачностью вертикального развития на фронтах окклюзий или холодных катафронтах и в настоящее время довольно легко поддаются прогнозу. Основные трудности своевременного диагноза и прогноза конвективной облачности и связанных с ней осадков, гроз и других опасных конвективных явлений, сопряжены с большой пространственной и временной изменчивостью облачности и сложностями усвоения информации о её физических характеристиках в прогностических региональных мезомасштабных моделях. Задача еще более усложняется, когда прогноз касается количественных показателей развития внутримассовой конвекции – мощности и водности облачных ячеек, имеющих прямое отношение к оценке величины ожидаемых осадков. Качественный прогноз невозможен без как можно более точного диагноза ряда физических характеристик облачности, на фоне которой могут возникать опасные и чрезвычайные ситуации для населения, различной инфраструктуры и сельского хозяйства. В этом случае, кроме стандартных методов, которые использует синоптик при составлении прогноза, необходима дополнительная информация метеорологических радиолокаторов, спутников или продуктов численного моделирования регионального масштаба.

Цель исследования заключалась в разработке алгоритма детектирования мезомасштабных зон сильных осадков с помощью компьютерного зрения [6] на основе спутниковых данных над территорией Западной Сибири.

В работе использовались микрофизические характеристики облачности (Cloud Top Temperature, Cloud Top Height, Cloud Optical Thickness, Cloud Effective Radius) с сайта [7], информация о времени снимка и наиболее подходящем спутнике, проводилась геопривязка данных. Для работы алгоритма необходимо было создать проекцию базовой карты, детализацию и граничные координаты с последующим попиксельным нанесением данных на карту. По оси «x» значения долготы, по «y» значения широты, а за «z» скорректированные значения характеристики. Для радикального уменьшения информации, содержащейся на изображении, проводилась бинаризация. Затем проводилось сложение четырех изображений в одно. Для этого мы присваиваем каждому изображению значение прозрачности по альфа-каналу равное $\frac{1}{4}$ от 1, и на выходе получаем суммированное изображение 4 масок вероятности мезоциклона или скопления *Cb*. Таким образом, производится распознавание визуального образа отображения заданных микрофизических характеристик облачности, характерной для мезо процессов над Западной Сибирью. В первую очередь оценивалось наличие завихренности в структуре скопления *Cu* и *Cb*.

Оценка качества работы алгоритма проводилась путем сопоставления фактической области мезопроцесса и области его возможного нахождения по результатам расчетов вне зависимости от процентной составляющей. Так, если над фактической областью мезопроцесса находится поле со значением $\geq 25\%$, то принимается, что мезопроцесс определен верно, так как совпал 1 из 4 параметров.

От 60 до 85 % случаев в детектированных областях с мезоциклоном или скоплением *Cb* отмечались комплексы опасных метеорологических явлений, таких как гроза, сильный ветер, ливневый снег и ливневый дождь. Опасные явления были детализированы по данным телеграмм кода WAREP в зависимости от координат процесса и метеостанций и в соответствии с Перечнем и критериями опасных природных явлений, действующий на территории деятельности ФГБУ «Западно-Сибирское УГМС». Непосредственно сильные осадки (ливневый снег и ливневый дождь) в 40% верифицируются по данным метеорологических станций и связаны с мезопроцессами. Редкая сеть наблюдений не позволяет оценить детектированные области в полной мере.

Нужно отметить, что среднее значение вероятностного поля присутствия мезопроцесса в облачности зависит от времени года и варьируется от 73% в зимний период до 88% в летний.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант 18-45-700010 р_а).

1. Огурцов Л.А., Чередыко Н.Н., Волкова М.А., Журавлев Г.Г. Динамика показателей экстремальности климата на территории Западной Сибири // Оптика атмосферы и океана, Т. 29, 2016. № 8. С. 633-639. DOI:10.15372/AOO20160803.

2. Кужевская И.В., Пустовалов К.Н., Шарапова А.А. Характеристики конвективных кластеров, восстановленные по данным инструментов зондирования ATOVS //Фундаментальная и прикладная климатология. 2018. Т. 2. С. 69-85.

3. Шабанов П.А., Матвеева Т.А., Маркина М.Ю. Межгодовые изменения событий очень сильных осадков на Европейской части России // Фундаментальная и прикладная климатология, Т. 4, 2017. С. 106 – 123. DOI: 10.21513/2410-8758-2017-4-106-123.

4. Золина О.Г., Булыгина О.Н. Современная климатическая изменчивость характеристик экстремальных осадков в России. – Фундаментальная и прикладная климатология, Т.1, 2016. С. 84 – 103. DOI: 10.21513/2410-8758-2016-1-84-103.

5. Коршунов А.А., Коршунова Н.Н. Чрезвычайные ситуации в России, связанные с неблагоприятными условиями погоды в 2009, 2010, 2014, 2015 году. [Электронный ресурс]. – URL: <http://meteo.ru/pogoda-i-klimat/118-chrezvychajnye-situatsii-v-rossii/401-chrezvychajnye-situatsii-v-2009-godu> (дата обращения 06.10.2018).

6. Kagami Sh. High-speed vision systems and projectors for real-time perception of the world. IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition - Workshops. 2010. pp. 100–107. doi:10.1109/CVPRW.2010.5543776. ISBN 978-1-4244-7029-7.

7. EOSDIS Worldview. [Электронные данные]. – URL: earthdata.nasa.gov/labs/worldview/ (дата обращения 23.06.2018).

РЕАКЦИЯ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ НА ИЗМЕНЕНИЕ КЛИМАТА В УСЛОВИЯХ СЕВЕРНЫХ ШИРОТ (НА ПРИМЕРЕ ТАЕЖНОЙ ЗОНЫ ХАНТЫ-МАНСИЙСКОГО АВТОНОМНОГО ОКРУГА - ЮГРЫ)

Кузнецова В.П.

Нижевартовский государственный университет (г. Нижневартовск)

Ver597@yandex.ru

Отчетливая реакция природной среды на современные климатические процессы в наибольшей степени проявляется в условиях северных широт. Установлено влияние изменения и колебания климата на фенологические явления, структуру сезонных ритмов в условиях функционирования ландшафтов на территории Западной Сибири. В пределах северных широт наблюдается современное потепление климата, которое приводит к заметному смещению границ природных зон. Исследования ученых подтверждают существенный рост многолетних показателей среднегодовой температуры воздуха, что приводит к интенсивному таянию многолетней мерзлоты и имеет большое значение для природы северных регионов [1].

В результате анализа многолетних рядов температуры воздуха по данным метеорологических станций, нами выявлены тренды, свидетельствующие о тенденции повышения средней температуры воздуха в таежной зоне Ханты-Мансийского автономного округа-Югры. Так, самые высокие среднегодовые температуры воздуха за последние 12 лет, по данным метеостанции города Нижневартовска, отмечались в 2007 г. (-0,1°C), 2008 и 2011 гг. (-0,3°C), 2015 г. (-0,1°C), а также в 2016 г. (-0,3°C) и 2017 г. (-0,2°C) (Рис. 1).

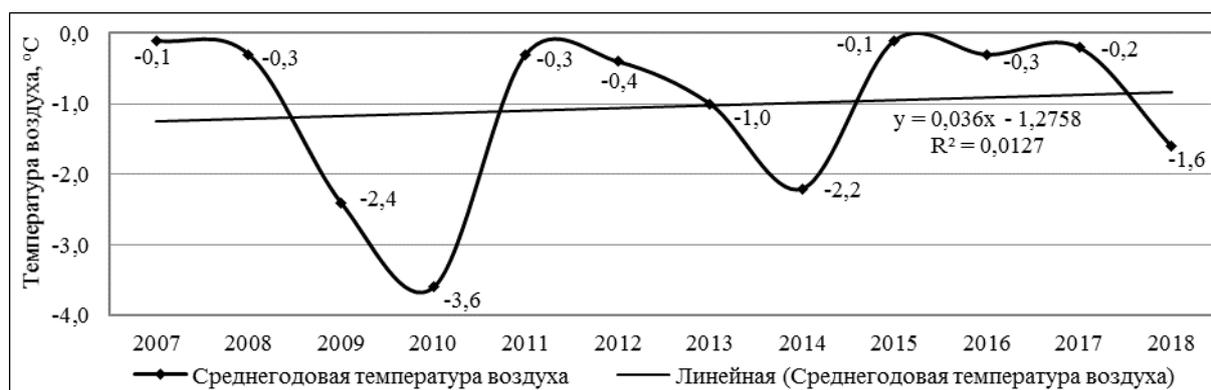


Рисунок 1. График среднегодовой температуры воздуха (°C) в городе Нижневартовске за 2007–2018 гг. (составлен автором)

Наблюдается тенденция увеличения суммы атмосферных осадков на протяжении осенне-зимних сезонов в условиях таежной зоны ХМАО-Югры. За 2007-2018 гг. на территории г. Нижневартовска максимальное количество атмосферных осадков отмечено в 2007, 2015 и 2018 гг. За исследуемый период средний показатель суммы атмосферных годовых осадков составляет 551 мм. На фоне ярко выраженных сезонных аномалий в отдельные годы, наблюдается тенденция уменьшения количества годовых осадков за многолетний период.

Реакция природной среды на изменение климата сопровождается проявлением большого количества опасных гидрометеорологических явлений на территории северного региона. В весенне-летний сезон 2015 г. территория ХМАО-Югры подверглась значительному затоплению в результате весеннего паводка, который мог быть вызван и аномально большим запасом снега зимой 2014-2015 гг., а также интенсивными ливневыми осадками летом 2015 г., сумма которых в некоторые дни достигала 24-32 мм в сутки [3, 4].

Одним из важных индикаторов реакции природной среды на изменения климатических условий территорий северных широт являются сроки образования и схода снежного покрова,

характеризующие продолжительность морозного периода. Для территории таежной зоны Ханты-Мансийского автономного округа-Югры свойственно заметное уменьшение продолжительности периода с устойчивым снежным покровом, что определяет фенологические границы зимнего сезона (Рис. 2).

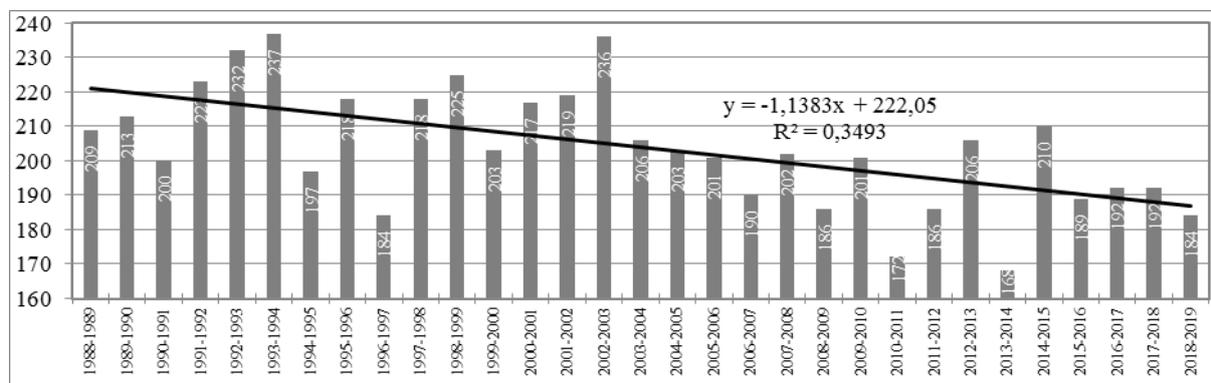


Рисунок 2. График количества дней со снежным покровом в городе Нижневартовске за 1988–2019 гг. (составлен автором)

Таким образом, климатические изменения в таежной зоне ХМАО-Югры наиболее ощутимы, поскольку территория региона расположена в экстремальных природно-климатических условиях. Изменение местного климата наиболее интенсивно проявляется в переходные сезоны года – весной и осенью [2]. В таежных условиях округа установлено отчетливое смещение фенологических рубежей осеннего сезона в сторону более поздних сроков. Наблюдаемые процессы изменения климата проявляются на локальном уровне, что выражается в возникновении сезонных погодных аномалий, увеличении атмосферных осадков, сокращении продолжительности зимнего периода.

1. Евсева Н.С., Филандышева Л.Б., Жилина Т.Н., Квасникова З.Н., Сапьян Е.С. Циклические изменения климата Западно-Сибирской равнины и их влияние на функционирование геосистем / Н.С. Евсева, Л.Б. Филандышева, Т.Н. Жилина, З.Н. Квасникова, Е.С. Сапьян // Международный научно-технический и производственный журнал «Науки о Земле», ООО «ГеоДозор», Москва. – №2. – 2015. – С. 84-100.

2. Кузнецова В.П. Значение фенологических сведений в исследовании динамики климата / В.П. Кузнецова // Проблемы региональной экологии. – 2014. – №4. – С. 61–66.

3. Кузнецова В.П. Локальные проявления современного изменения климата в условиях северных регионов (на примере города Нижневартовска) / В.П. Кузнецова // Международный научно-исследовательский журнал – 2016. 2-2 (44) – С. 95-98.

4. Vera Kuznetsova, Elza Kuznetsova, Aliya Kushanova. Geographic information mapping of flood zones for sustainable development and urban landscape planning / Informatics, geoinformatics and remote sensing: photogrammetry and sensing. Cartography and GIS: 18th International Multidisciplinary Scientific Conference on Earth & GeoSciences SGEM. Albena, Bulgaria, 30 June-9 July 2018 – Albena, 2018. – P. 393-400.

АНАЛИЗ МЕХАНИЗМОВ ФОРМИРОВАНИЯ ОПАСНЫХ ЯВЛЕНИЙ ПОГОДЫ В ТЕПЛОЕ ПОЛУГОДИЕ В МОСКОВСКОМ РЕГИОНЕ

Куксова Н.Е., Семёнов В.А., Торопов П.А.

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова (г. Москва)
info@rector.msu.ru

По причине роста опасных явлений погоды (ОЯП) [1] становятся актуальными работы, нацеленные на изучение физических механизмов их генезиса. Одними из ОЯП являются события, связанные с мезомасштабными конвективными явлениями, в основном приуроченные к холодным фронтам. Однако до сих пор не ясна причина увеличения таких событий. Согласно концепции глобального потепления, должно наблюдаться уменьшение количества холодных и теплых вторжений в регионы с умеренным климатом, так как меридиональный градиент уменьшается за счет более активного потепления Арктики [4]. Должно происходить уменьшение случаев ОЯП, но мы наблюдаем обратную картину. С другой стороны, согласно концепции глобального потепления пути движения внетропических циклонов должны смещаться на север, в том числе и циклоны, образующиеся над Атлантикой и движущиеся в сторону России [2]. Данный вывод приводит к тому, что происходит усиление градиента север-юг, так как такой циклон, проходящий через Московский регион при прочих равных характеристиках, будет затягивать более холодный воздух. То есть частично зональная циркуляция воздуха приобретает меридиональную составляющую.

В ходе работы была произведена оценка температурных градиентов между Московским регионом и наиболее вероятными областями образования воздушных масс в северных морях. Для анализа была взята среднемесячные температуры реанализа ERA-Interim. Данные были усреднены между несколькими узлами сетки в регионах, соответствующих Северному, Норвежскому, Баренцеву и Белому морям, а также Московскому региону. В ходе анализа данных было установлено, что холодные вторжения, пришедшие из Северной Атлантики, имеют тенденцию к усилению, из-за роста градиента температуры за последние десятилетия (рис. 1).

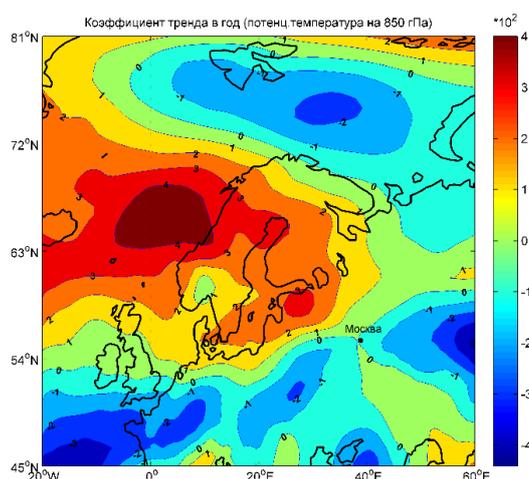


Рисунок 1. Коэффициент линейного тренда в год разницы потенциальной температуры в мае на 850 гПа с г. Москва.

Это приводит к более контрастным перепадам значений температур на фронтальных разделах и, соответственно, увеличивает риски опасных метеорологических явлений в летний период, таких как шквалы, ливневые осадки, смерчи, крупный град.

На основе данного вывода была предпринята попытка произвести климатический анализ случаев опасных явлений в Московском регионе. Для данной задачи были отобраны 14 случаев наиболее интенсивных конвективных явлений в период с 1991 по 2017 год. Для каж-

дого случая был проведен синоптический анализ с помощью модуля ГИС-МЕТЕО, дополнительно были использованы данные реанализа ERA-Interim, аэрологических зондов и обратных траекторий с помощью модели HYSPLIT [3]. В ходе синоптического анализа были оценены для всех случаев термодинамические характеристики взаимодействующих воздушных масс, таких как высота тропопаузы, интегральное влагосодержание и др. Все события изначально были связаны с образованием обширных термических гребней с центрами в районе Казахстана, Западной Европы и югом ЕТР, далее реализовывалось два сценария: возникновение мощных мезомасштабных конвективных комплексов в воздушной массе, по своим свойствам близкой к морской тропической (большое тепло- и влагосодержание) на фоне сходимости воздушных течений вблизи атмосферного фронта или на периферии циклона и формирование линий шквалов в зонах холодных фронтов в результате адвекции морского умеренного воздуха с Балтики и Северной Атлантика. Также стоит отметить низкие значения потенциальной конвективной энергии неустойчивости, что говорит о большом вкладе динамических процессов (больше половины случаев наблюдались при наличии больших сдвигов ветра и развитии струйных течений) или же совместном иницирующем влиянии, о чем дополнительно говорят малые значения числа Ричардсона. Все события наблюдались в атмосфере с высоким содержанием водяного пара, иногда значения влагосодержания в 2 раза превышали среднеклиматические. Наиболее частыми очагом воздушной массы являлась Северная Атлантика, где формируется умеренная морская воздушная масса (МУВ).

Наибольшая повторяемость событий наблюдается в июне, в результате сочетания нескольких благоприятных условий, а именно высокого радиационного баланса и, как следствие, значительный прогрев поверхности, интенсивный турбулентный и конвективный обмен и значительные температурные контрасты «океан-суша».

1. Бардин М.Ю., Булыгина О.Н., Платова Т.В. 2014. Глава 1.7. Экстремальность климата. В: Второй оценочный доклад Росгидромета об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. Под ред. В.М.Катцова и С.М.Семенова. М., Росгидромет, с. 171-202.

2. Semenov V.A. и др. Climate change in Russia over the last decades: major tendencies and peculiarities. Российская Академия Наук, Россия, 2018.

3. Stein, A.F., Draxler, R.R., Rolph, G.D., Stunder, B.J.B., Cohen, M.D., and Ngan, F., (2015). NOAA's HYSPLIT atmospheric transport and dispersion modeling system, Bull. Amer. Meteor. Soc., 96, 2059-2077.

4. Yin J.H. A consistent poleward shift of the storm tracks in simulations of 21st century climate // Geophysical Research Letters. 2005. Т. 32. № 18.

ЦИРКУЛЯЦИОННЫЕ ФАКТОРЫ ИЗМЕНЕНИЙ КЛИМАТА В СИБИРСКОМ РЕГИОНЕ

Латышева И.В.

Иркутский государственный университет (г. Иркутск)
ababab1967@mail.ru

Современные темпы изменений климата на территории Сибирского региона сопровождаются увеличением повторяемости опасных явлений погоды и в этой связи требуют более детальных исследований причин, их вызывающих. Одним из основных факторов, определяющих специфику климатических вариаций и синоптических процессов, является изменение крупномасштабных и региональных форм атмосферной циркуляции.

На территории России широко используется типизация атмосферных процессов, разработанная для внетропических широт Северного полушария Б.Л. Дзерdzeевским, в настоящее время продолжаемая Н.К. Кононовой [1]. Она представляет собой календарь последовательной смены элементарных циркуляционных механизмов (ЭЦМ), выделение которых проводится по наличию или отсутствию блокирующих вторжений холодных арктических воздушных масс. Следовательно, она отражает интенсивность адвекции холода, которая определяется развитием высотных ложбин циркумполярного вихря в низкие широты, и, как следствие, характеризует интенсивность межширотного обмена воздушных масс, так как с углублением высотных ложбин тесно связано развитие высотных гребней и, как следствие, адвекции тепла в высокие широты. Очевидно, что при таких типах циркуляционных процессов наиболее изменчив и характер погодных условий у поверхности Земли. Следует отметить, что наиболее сложные условия создаются при стационарирующих теплых высотных антициклонах или холодных высотных циклонах, когда погодные аномалии длительное время сохраняются в регионе.

С учетом преобладающих типов синоптических процессов можно выделить циркуляционные эпохи: зональную и меридиональную, которую соответственно подразделяют на северную и южную [2]. С 2006 года по настоящее время на территории Сибирского региона, как и на территории других регионов Северного полушария, отмечается меридиональная эпоха циркуляции. Анализ продолжительности групп атмосферных процессов в указанный период на территории Сибирского сектора отражает значительные изменения, которые произошли в продолжительности преобладающих зональных и меридиональных процессов. При значительном уменьшении продолжительности широтной западной группы атмосферных процессов в сочетании с долготной южной и долготной северной в сочетании с широтной западной, что соответственно в 8 и 5 раз меньше средних многолетних значений, существенно возросла продолжительность долготной северной группы.

Если для широтной западной группы процессов характерна циклоническая деятельность на арктическом и полярном фронтах, которая сопровождается повышением атмосферного давления над Сибирью при вторжениях холода в тыловых частях заключительных циклонов (ЭЦМ 13w,s и 8a), то наибольший вклад в межгодовую изменчивость северной долготной группы циркуляции в Сибирском секторе вносят арктические вторжения (ЭЦМ 12a). Последние нередко сопровождаются развитием блокирующих процессов над Сибирью. Интересно, что межгодовые вариации ЭЦМ 12a неплохо согласуются с вариациями продолжительности данного типа над Атлантикой.

Ярким примером проявления возросшей продолжительности долготной северной группы процессов явился 2019 год. В феврале 2019 г. на территории Сибирского и Американского секторов при углублении ложбин циркумполярного вихря и длительное время сохраняющихся меридиональных потоках на высотах происходило усиление зимних континентальных центров действия атмосферы - Азиатского и Канадского антициклонов, которые блокировали смещение атлантических и тихоокеанских циклонов, следствием чему явились отрицательные аномалии зимних температур. Еще более сложной оказалась синоптическая ситуа-

ция в летние месяцы. Северные районы Сибири наряду с территорией Аляски и Гренландии оказывались под влиянием продолжительных волн тепла, которые определяли стационарирование теплых высоких приполярных антициклонов. В результате северные районы Иркутской области оказывались не только под влиянием теплых высоких антициклонов, но и адвекции тепла в теплых секторах циклонов, огибающих гребни приполярного антициклона по северу, что способствовало увеличению количества очагов и площади лесных пожаров, а также сохранению практически весь летний период высокого уровня пожарной опасности (рис. 1а). Южные и западные районы Иркутской области, напротив, чаще оказывались в зоне повышенных градиентов температур и давления вдоль южной периферии приполярного антициклона, определяющих благоприятные условия для выпадения атмосферных осадков. В то же время в условиях положительных аномалий температур смещение высотных холодных циклонов и их стационарирование на юге Иркутской области способствовало формированию паводков, последствия одного из которых в июне 2019 года носили катастрофический характер (рис. 1б).

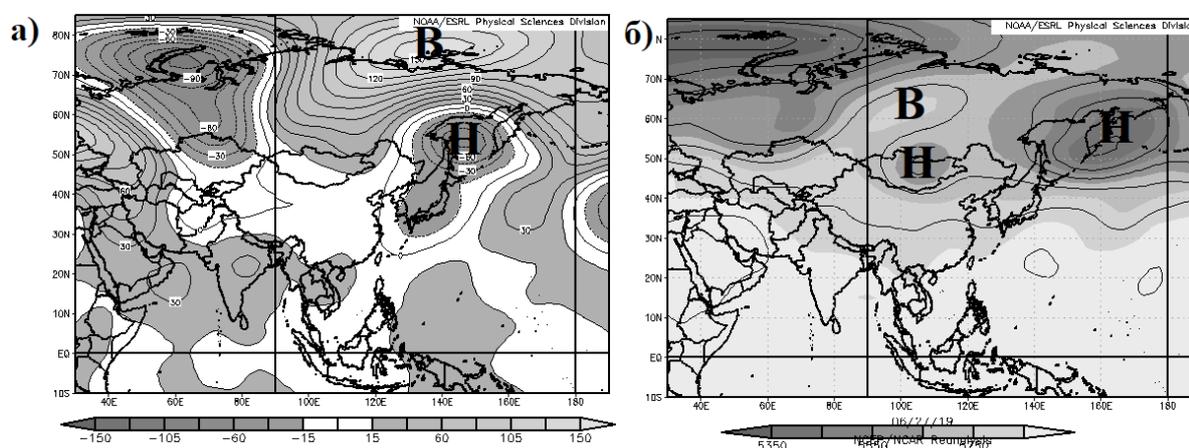


Рисунок 1. Аномалии средних месячных значений геопотенциала АТ-500 гПа (джм) в июне (а) и среднее поле приземного давления 27.06.2019 г. (б) по данным Реанализа NCEP/NCAR

Таким образом, современные изменения циркуляционного режима в Сибирском секторе в меридиональную северную эпоху циркуляции (2006–2019 гг.) характеризуются значительным увеличением продолжительности долготной северной группы атмосферных процессов, при которой получают развитие процессы блокирования и возрастает вероятность как аномально теплых, так и аномально холодных, аномально влажных и аномально сухих периодов.

1. Дзержевский Б.Л. Избранные труды. Общая циркуляция атмосферы и климат. М.: Наука, 1975. – 288 с.
2. Кононова Н.К. Циркуляционные эпохи в секторах Северного полушария в 1899–2014 гг. / Геополитика и экогеодинамика регионов, 2015. – Т. 1 (11). – Вып. 2. – С. 56–66.

СЕЗОННЫЕ ОСОБЕННОСТИ КЛИМАТИЧЕСКИХ АНОМАЛИЙ НА ТЕРРИТОРИИ ИРКУТСКОЙ ОБЛАСТИ

Латышева И.В., Белоусова Е.П., Гаращук С.А., Латышев С.В.

Иркутский государственный университет (г. Иркутск)

ababab1967@mail.ru

Для исследования современных тенденций изменений климата на территории Иркутской области проводился расчет аномалий средних месячных значений температуры воздуха, сумм атмосферных осадков и средней скорости ветра в различные циркуляционные эпохи по типизации Б.Л. Дзерdzeевского: зональную (1977–2005 гг.) и меридиональную (2006–2018 гг.). Для оценки пространственно-временных особенностей распределения аномалий метеорологических величин использовался метод картирования, в основе которого многоуровневая B-сплайн аппроксимация.

В современную меридиональную эпоху по сравнению с предшествующей зональной эпохой на территории Иркутской области увеличилось количество метеорологических станций с положительными аномалиями средних месячных температур во все месяцы, кроме января. В январе число станций с отрицательными аномалиями средних температур оказалось больше, чем с положительными температурными аномалиями (рис. 1а). Также возросли значения положительных аномалий температур в первую половину лета, осенью и весной. На фоне преобладающих положительных аномалий средних месячных температур в меридиональную циркуляционную эпоху над большей частью территории Иркутской области преобладают положительные аномалии месячных сумм атмосферных осадков, такие изменения наиболее выражены в ноябре (81% станций), декабре (82%) и феврале (80%) (рис. 1б). Однако выделяются месяцы с преобладанием отрицательных аномалий месячных сумм осадков – в период с июля по октябрь.

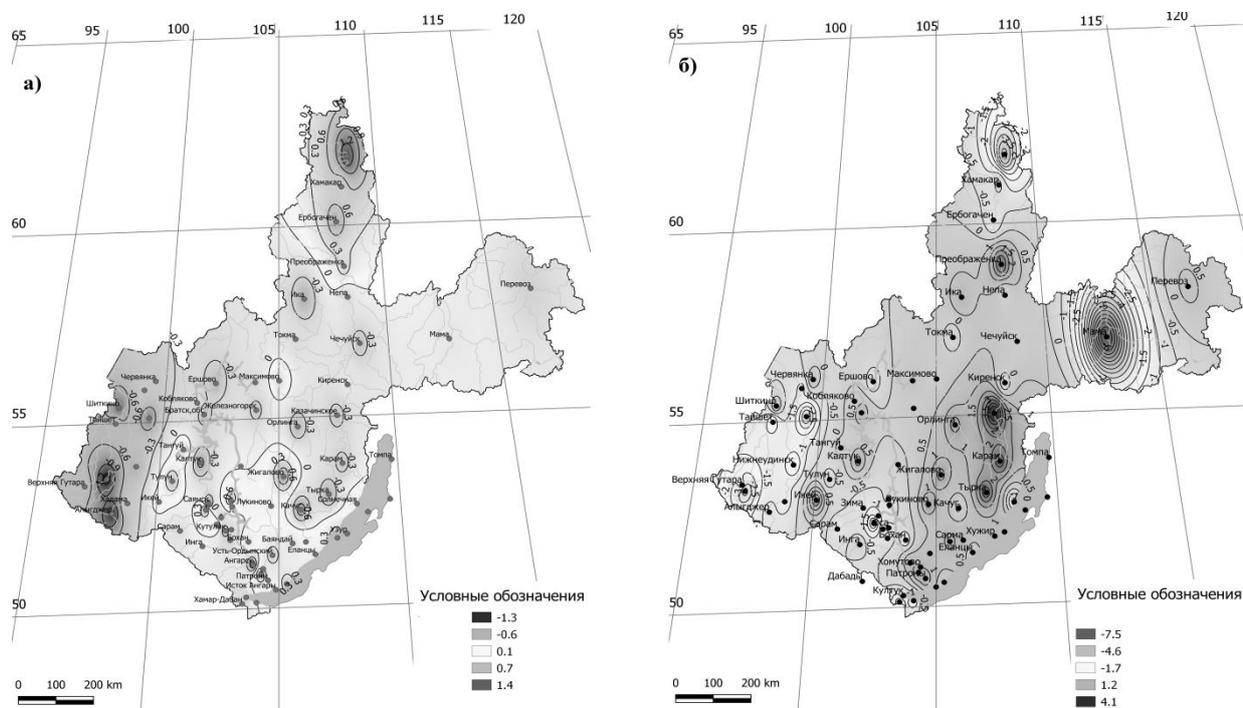


Рисунок 1. Карты аномалий средней месячной температуры воздуха (а) и сумм атмосферных осадков (б) в январе 2006–2018 гг., рассчитанные по данным 73 метеорологических станций по отношению к средним значениям за 1977–2018 гг.

Наибольшие изменения средней скорости ветра в современную циркуляционную эпоху происходят в северных районах области, тогда как в зональную циркуляционную эпоху были

более выражены по югу области и на побережье оз. Байкал (рис.2а). В настоящее время незначительное преобладание положительных аномалий по числу метеостанций сохраняется только в феврале, в остальные месяцы над большей частью территории Иркутской области средние скорости ветра уменьшаются (рис.2б). Наибольшее ослабление ветра и увеличение площади, занятой отрицательными аномалиями на территории Иркутской области, произошло в апреле (67%), декабре (65%), ноябре (60%), октябре (58%) и июне (57%).

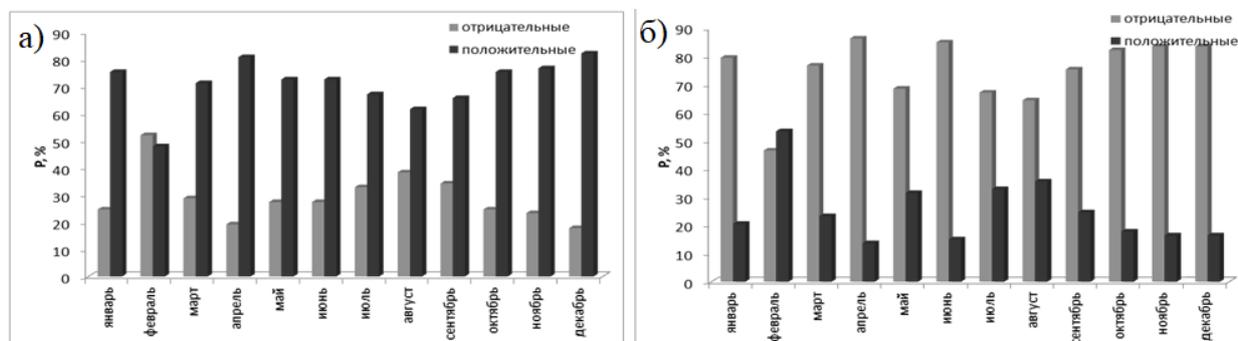


Рисунок 2. Распределение повторяемости (%) числа метеорологических станций с положительными и отрицательными аномалиями средних месячных скоростей ветра, рассчитанных по данным 73 метеорологических станций в различные циркуляционные эпохи: зональную (а) и меридиональную (б) по отношению к средним значениям за период 1977–2018 гг.

В целом, для зональной эпохи циркуляции (1977–2005 гг.) на территории Иркутской области можно выделить такие особенности в изменениях климата, как преобладание положительных аномалий средних месячных температур, наиболее выраженное в южном районе Иркутской области и отрицательных аномалий в северных районах области, которые сопровождалось соответственно увеличением месячных сумм осадков по югу и уменьшением на севере области.

Для эпохи действующей в настоящее время меридиональной циркуляции (2006–2019 гг.) характерно значительное увеличение количества станций с положительными аномалиями температур, наиболее выраженное летом и в переходные сезоны года и увеличение количества станций с отрицательными температурными аномалиями в январе, феврале и ноябре. Повышение температур максимально выражено в г. Иркутске – самом крупном промышленном центре региона, где, возможно, сказывается влияние городского острова тепла и антропогенных источников. Также максимальные скорости роста средних температур отмечаются в высокогорных районах Восточных Саян. Увеличение площади, занятой положительными аномалиями температур в южных районах и на побережье оз. Байкал, сопровождалось увеличением месячных сумм осадков, тогда как по северным районам области более выражено увеличение площади, занятой отрицательными аномалиями осадков. Выделяются период с преобладанием отрицательных аномалий месячных сумм осадков с июля по октябрь.

Таким образом, в эпоху меридиональной циркуляции по сравнению с зональной на территории Иркутской области произошло ослабление средней скорости ветра, увеличение площади, занятой положительными аномалиями средних месячных температур, усиление засушливости климата в период максимума осадков в годовом распределении (с июля по октябрь).

ОЦЕНКА НЕЛИНЕЙНЫХ СВЯЗЕЙ ОСНОВНЫХ МЕТЕОВЕЛИЧИН В ТРОПОСФЕРЕ СЕВЕРНОЙ ЕВРАЗИИ

Логинов С.В.

Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН (г. Томск)
LogSV13@gmail.com

Процессы различных пространственно-временных масштабов могут порождать нелинейные взаимодействия в возникающих возмущениях. Поэтому для анализа сигналов в нелинейных системах и средах требуется применять статистические характеристики, несущие дополнительную информацию о взаимосвязях процессов, например, полиспектры или кумулянтные функции высших порядков [1, 2].

Согласно [2], кумулянт порядка s описывает статистическую связь порядка $(s-1)$ между величинами. Статистическая связанность относится как к совместным кумулянтам, так и к кумулянтам одномерного вероятностного распределения, характеризующего внутреннюю связанность величины.

Для тропосферы Северного полушария (NH) с применением аппарата кумулянтных функций высшего порядка были получены оценки характеристик нелинейных связей совместного распределения флуктуаций основных метеорологических величин: температуры (t), влажности воздуха (q), компонент скорости ветра (u , v и w) и высоты геопотенциала (z). Флуктуации синоптического масштаба (2–7 суток) метеовеличин рассчитывались по методике, описанной в [3]. Выбранный масштаб соответствует среднему периоду продолжительности жизни барического образования (циклона/антициклона). Вычисления проводились по срочным данным реанализа Era-Interim за интервал 1979–2018 гг.

Индикаторная функция θ , определяемая как количество метеовеличин для которых величина асимметрии χ_3 статистически значима [3], выявила наличие районов со значимыми проявлениями нелинейных процессов (рис. 1). В областях генерации бароклинных возмущений (Bar, обозначается прерывистой линией) динамика процесса может быть связана с изменчивостью четырех метеовеличин.

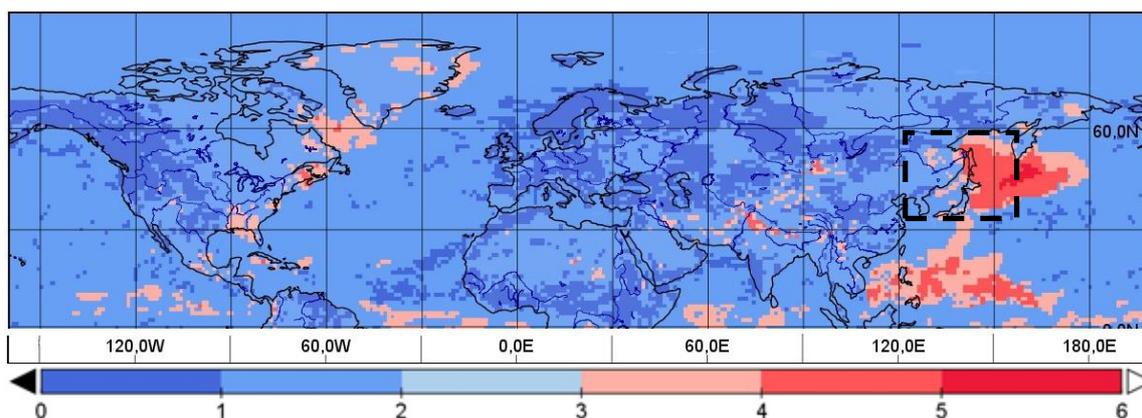


Рисунок 1. Индикаторная функция (θ) флуктуаций с временными масштабами 2–7 суток для холодного времени года на уровне 850 гПа. Амплитуда флуктуаций $>3\sigma$.

Поэтому были получены оценки порядка связи ($n=s-1$) от 2 до 4 для групп, состоящих из 2, 3 и 4 величин. Рассчитывались кумулянты одномерного и совместного распределений, что позволило выявить: сочетания метеовеличин с наиболее значимыми нелинейными связями, районы их проявления и сезонные особенности. Для Северного полушария получены оценки для районов, в которых совместные функции вероятности: а) полностью соответствуют гауссовым процессам (G); б) негауссовы, но их генерация выполнена гауссовыми величинами (GN); в) негауссовы, как и одномерные функции распределения, т.е. нелинейные

процессы генерируются негауссовыми величинами (nGN); г) нулевые, а одномерные распределения негауссовы (nG), т.е. процессы нелинейные, а их изменчивость вызвана внутренней связанностью. Выявлено, что районы, в которых протекают процессы типов G и GN, не превышают нескольких процентов от территории, как для Северного полушария, так и для зоны Var. Негауссовы процессы (nGN) наоборот составляют более 95% территории. Сезонная изменчивость нелинейных связей проявляется, как правило, в процессах типа nG (табл. 1). Оценки территории (%), охваченной процессом nG, рассчитаны для групп с $nV=2\div 4$ и порядком связи $n=2\div 4$. Статистическая значимость кумулянтов определялась по уровню 3σ .

Таблица 1. Влияние уровня связи (n), количества элементов в группе и сезона на размеры территории с нелинейными (негауссовы) атмосферными процессами.

сез.\ nV	1979–1998									1999–2018								
	n=2			n=3			n=4			n=2			n=3			n=4		
	2	3		2	3	4	2	3	4	2	3		2	3	4	2	3	4
Var																		
Зима	0	7		0	2	33	1	13	46	0	8		0	5	42	1	11	58
Весна	1	12		0	8	79	4	43	88	0	13		0	16	91	2	44	89
Лето	0	14		0	0	28	0	2	42	0	17		0	0	28	0	4	41
Осень	0	10		0	2	63	0	25	81	0	13		0	4	63	1	19	79
NH																		
Зима	3	52		0	4	48	2	19	67	3	59		0	4	50	2	18	68
Весна	5	62		0	5	52	3	23	72	5	60		0	7	58	3	26	76
Лето	4	64		0	6	58	3	25	76	4	63		0	7	58	3	26	74
Осень	3	59		0	4	55	2	22	76	4	60		0	5	54	2	22	74

В области бароклинности негауссовы процессы проявляются на существенной части территории (80–90%) в весенний и осенний сезоны и реализуются в группе из 3–4 элементов (включающих, как правило, элементы w, q, t) со связью 3–4 порядков. Для других районов Северного полушария отмечается существенное (~60%) проявление связи 2-го порядка для 3-х элементных групп.

Таким образом, для более корректного учета как внутренних, так и совместных связей при описании динамики атмосферы в функции распределения вероятности, характеризующей атмосферные процессы, необходимо учитывать кумулянты старших порядков.

Исследование было выполнено в рамках госбюджетной темы № АААА-А17-117013050031-8 и при поддержке гранта РФФИ № 18-05-00087 А.

1 Бочков Г.Н., Горохов К.В. Полиспектральный анализ и синтез сигналов // Учеб. метод. пособие. - Н. Новгород: Изд-во ННГУ, 2007. - 113 с.

2 Малахов А.Н Кумулянтный анализ случайных негауссовых процессов и их преобразований, М.: Советское радио, 1978. - 376 с.

3 Логинов С.В., Елисеев А.В., Мохов И.И. Влияние негауссовой статистики атмосферных переменных на экстремальные внутримесячные аномалии// Известия РАН. Физика атмосферы и океана. 2017. т.53. №3. - С. 307-317.

СТАТИСТИКА НИЖНЕЙ СЛОИСТООБРАЗНОЙ ОБЛАЧНОСТИ НАД ТЕРРИТОРИЕЙ СИБИРСКОГО РЕГИОНА

Ломакина Н.Я., Лавриненко А.В.

Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН (г. Томск)
lnya@iao.ru, gfm@iao.ru

Известно, что облачность имеет ключевое значение в регулировании радиационных потоков, определяющих тепловой режим системы «земная поверхность – атмосфера» [1, 2], и оказывает большое влияние на формирование и изменения глобального и региональных климатов. При этом важнейшую роль играет тип облачности, поскольку облака верхнего яруса в целом способствуют усилению парникового эффекта и тем самым нагреванию климатической системы, а облака нижнего яруса, отражая проходящую солнечную радиацию – наоборот ее выхолаживанию [3]. Однако, в разное время года влияние облаков нижнего яруса проявляется по-разному [4]. Если в холодное полугодие эти облака, создавая парниковый эффект, повышают температуру земной поверхности, то в теплое полугодие они, отражая проходящую солнечную радиацию, ту же температуру понижают.

Поскольку облачность относится к числу наиболее изменчивых во времени и в пространстве метеорологических явлений, необходима постоянная переоценка ее характеристик по новейшим данным, причем как на глобальном, так и на региональном уровнях. Данная работа продолжает исследования [5], при этом увеличился ряд наблюдений за облачностью. В настоящей работе по данным 50-летних (1966–2018 гг.) 8-срочных метеорологических наблюдений за количеством и высотой нижней границы слоистообразных облаков нижнего яруса (Sc, St, Ns) 62 метеорологических станций (<http://www.ncdc.noaa.gov/>) исследуется режим нижней облачности над территорией Сибирского региона.

Исследование проводилось с помощью среднесезонных значений следующих климатических показателей, рассчитанных для четырех сезонов (зимы, весны, лета и осени). Так, при анализе количества нижней облачности использованы его средние значения (баллы) и повторяемость (%) облаков по пяти градациям: (0, 1–3, 4–6, 7–9, 10 баллов). В то же время при анализе высот нижней границы облаков нижнего яруса взяты средние значения (км) и повторяемости (%) по шести градациям высоты нижней границы: 0,05–0,2; 0,2–0,4; 0,4–0,8; 0,8–1,2; 1,2–1,6; 1,6–2,0 км, дополненные градацией «облаков нет» (0).

Анализ пространственного распределения среднего количества облаков нижнего яруса по территории Сибири (рис. 1) показал, что:

– во все сезоны, за исключением лета, количество нижней слоистообразной облачности значительно выше над территорией Западной Сибири, чем над Восточной Сибирью, при этом количество облачности убывает с северо-запада в юго-восточном направлении. Летом максимальное количество нижней слоистообразной облачности наблюдается на севере Сибирского региона и убывает в южном направлении.

– наибольшее количество облаков нижнего яруса отмечается в полярной зоне Сибирского региона летом и осенью, причем наиболее высокие значения – над территорией Западной Сибири (5,5–7,0 баллов), где хорошо развита циклоническая деятельность [6].

– наименьшее количество облаков нижнего яруса (1,2–1,8 баллов) наблюдается зимой над Восточной Сибирью и находится в тесной связи с высоким атмосферным давлением и низкими температурами, характерными для господствующего здесь Сибирского антициклона [6].

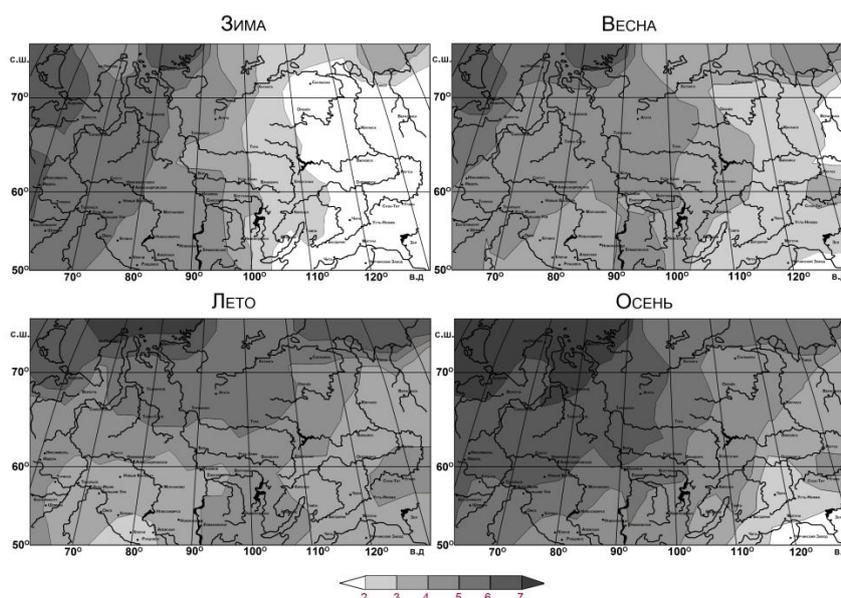


Рисунок 1. Пространственное распределение по территории Сибири среднесезонного количества нижней слоистообразной облачности (баллы).

Наряду со средними значениями количества слоистообразных облаков нижнего яруса была рассмотрена также повторяемость их количества по градациям (0, 1–3, 4–6, 7–9, 10 баллов). Наибольшую повторяемость имеют дни с ясной погодой (0 баллов) зимой и весной, причем зимой на крайнем юго-востоке Восточной Сибири она может достигать 82–90%. Летом и осенью повторяемость ясных дней существенно ниже, чем зимой и весной (не более 30%). Повторяемость дней со сплошной облачностью нижнего яруса (10 баллов), а также ее промежуточных градаций (1–3, 4–6 и 7–9 баллов), во все сезоны не превышает 20–30%.

Кроме того, был проведен анализ пространственного распределения высоты нижней границы облаков нижнего яруса, а также повторяемостей (%) высоты их нижней границы по шести градациям: 0,05–0,2; 0,2–0,4; 0,4–0,8; 0,8–1,2; 1,2–1,6; 1,6–2,0 км, дополненных градацией 0 (облаков нет).

Работа выполнена в рамках проекта (рег. № АААА-А17-117021310142-5).

1. Кондратьев К.Я., Биненко В.И. Влияние облачности на радиацию и климат. Л.: Гидрометеоиздат, 1984. 240 с.

2. Сушкевич Т.А., Стрелков С.А., Максакова С.В. О глобальной модели радиационного форсинга на климат и дистанционное зондирование Земли // Оптика атмосферы и океана. 2016. Т. 29. № 09. С. 725–732.

3. Hartmann D.L., Ockert-Bell M.e., Michelsen M.L. The effect of cloud type on the Earth's energy balance: Global analysis // J. Climate, 1992, №5. P.1281-1304.

4. Шерстюков Б.Г. Изменения, изменчивость и колебания климата. Обнинск: ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД». 2011. 293 с.

5. Комаров В.С., Матвиенко Г.Г., Ломакина Н.Я., Ильин С.Н., Лавриненко А.В. Статистическая структура и долговременные изменения нижней слоистообразной облачности над регионом Сибири как основа для метеорологической поддержки решения прикладных задач. Часть 1. Статистика нижней слоистообразной облачности. // Оптика атмосферы и океана. 2015. Т. 28. № 07. С. 622-629.

6. Климатология / Под ред. О.А. Дроздова и Н.В. Кобышевой. Л.: Гидрометеоиздат. 1989. 567 с.

СУБАКВАЛЬНАЯ МЕРЗЛОТА АРКТИЧЕСКОГО ШЕЛЬФА: ОЦЕНКА МОЩНОСТИ И ПЛОЩАДИ РАСПРОСТРАНЕНИЯ

Малахова В.В.

Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН
(г. Новосибирск)
malax@sscc.ru

Субаквальная мерзлота на шельфах Северного полушария сформировалась на суше в период понижения уровня океана и осушения шельфа и, предположительно, занимает площадь около 5 млн. км² [1]. Изучение современного состояния субаквальных многолетних пород (СММП) актуально в связи с освоением нефтегазовых ресурсов, а также имеет значение при составлении климатических прогнозов и оценках эмиссии метана в атмосферу. Разрушение подводной мерзлоты может приводить к газонасыщению верхнего слоя донных осадков и к дестабилизации гидратов метана мелководного шельфа [2], зона стабильности которых связана с существованием многолетнемерзлых субаквальных пород [3]. Внимание к проблеме субаквальной мерзлоты в последние годы объясняется формированием высоких концентраций метана в морской воде и в атмосфере арктического региона.

Основная проблема при получении представительных данных по глубине залегания, мощности и площади распространения СММП обусловлена трудностью при проведении буровых работ в регионе. Исследования состояния субаквальной мерзлоты в донных отложениях арктических морей проводится с использованием математического моделирования термического режима пород на основе сценариев развития природной среды. Современное состояние СММП определяется, прежде всего, факторами, связанными с колебаниями климата и уровня моря в среднем плейстоцене – голоцене [1]. Это определяет необходимость составления палеогеографических сценариев динамики природной среды региона для периодов не менее одного ледникового цикла (120 тысяч лет) [4].

Для исследования процессов формирования субаквальной мерзлоты и связанных с ней гидратов метана на шельфе арктических морей разработана модель динамики многолетнемерзлых пород в геологическом разрезе 1500 м для последних 400 тысяч лет для шельфа Восточной Сибири. Модель дополнена палеогеографическими сценариями изменения атмосферного воздействия и уровня океана [5].

Анализ современного состояния субаквальной криолитозоны проведен с учетом температуры и солености придонной воды, полученных из климатической модели океан-лед, разработанной в ИВМиМГ СО РАН [5]. Получены оценки мощности многолетнемерзлых пород шельфа с учетом данных интенсивности теплового потока [6]. Согласно проведенным расчетам толщина мерзлого слоя в донных отложениях шельфа зависит от глубины моря, геотермического потока, засоления донных отложений и составляет от 50 до 700 м (рис. 1а). Сильная зависимость продолжительности периодов затопления или осушения шельфа от его современной глубины определяет формирование мерзлого слоя различной мощности: с ростом глубины шельфа увеличивается продолжительность периодов трансгрессии и соответствующих периодов деградации субаквальной мерзлоты.

Получена пространственно-временная изменчивость положения верхней границы многолетнемерзлых пород для шельфа восточного сектора Арктики. Проведенное исследование показало, что большая глубина оттаивания мерзлых пород обусловлена их засолением вследствие миграции солей в поровое пространство в период трансгрессии. В численном эксперименте получено, что верхняя граница СММП расположена на глубине 12–30 м ниже морского дна в зависимости от области шельфа (рис. 1б).

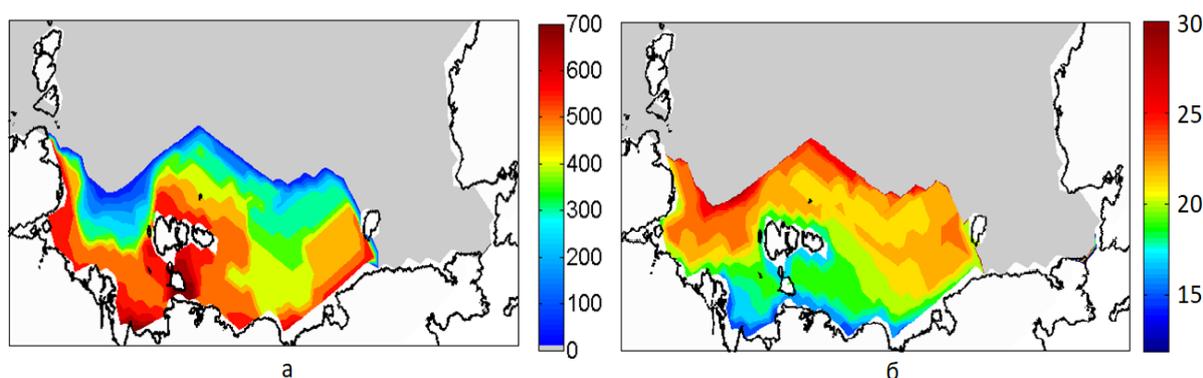


Рисунок 1. Результаты моделирования эволюции субаквальной мерзлоты на шельфе морей Восточной Арктики: а – положение нижней границы мерзлых пород в донных отложениях (в м); б – положение верхней границы мерзлых пород от морского дна (в м).

С использованием разработанной модели проведен анализ влияния таликовых зон, связанных с термокарстовыми озёрами, и процессов в рифтовых зонах на динамику субаквальных многолетнемерзлых пород и зоны стабильности газовых гидратов для условий шельфа моря Лаптевых. Интенсификация деградации подводной мерзлоты проявляется в областях, где развиваются термокарстовые озёра, и связана с повышением температуры на верхней границе донных отложений. Наличие зон рифтов и термокарстовых озёр способствуют уменьшению современной мощности многолетнемерзлых пород, а при их одновременном влиянии – к сквозному протаиванию мерзлоты шельфа [7].

Работа выполнена при поддержке РФФИ (проект № 17-05-00396, 17-05-00382).

1. Гаврилов А. В. Типизация арктических шельфов по условиям формирования мерзлых толщ // Криосфера Земли. 2008. Т. 12. № 3. С. 69–79.
2. Щербаков А.В., Малахова В.В. Моделирование пространственного распределения метангидратов Мирового океана и потока метана в атмосферу // Оптика атмосферы и океана. 2006. Т.19. №6. С. 530-535.
3. Елисеев А.В., Малахова В.В., Аржанов М.М., Голубева Е.Н., Денисов С.Н., Мохов И.И. Изменение границ многолетнемерзлого слоя и зоны стабильности гидратов метана на арктическом шельфе Евразии в 1950-2100 гг. // Доклады Академии наук. 2015. Т. 465. № 5. С. 598-603.
4. Romanovskii N.N., Hubberten H.W., Gavrilov A.V., Eliseeva A. A., Tipenko G. S. Offshore permafrost and gas hydrate stability zone on the shelf of East Siberian Seas // Geo-Mar. Lett. 2005. V. 25. P. 167–182.
5. Малахова В.В., Голубева Е.Н. Оценка устойчивости состояния мерзлоты на шельфе Восточной Арктики при экстремальном сценарии потепления в XXI в. // Лёд и Снег. 2016. Т.56. №1. С. 61-72.
6. Davies J. H. Global map of Solid Earth surface heat flow // *Geochem. Geophys. Geosyst.* 2013. V. 14. № 10. P. 4608-4622.
7. Malakhova V.V. On the thermal influence of thermokarst lakes on the subsea permafrost evolution // *Proc. SPIE 10035: 22nd Intern. Symposium Atmospheric and Ocean Optics: Atmospheric Physics.* 2016. V. 10035. P. 100355U.

ОТКЛИК ТРОПОСФЕРЫ И НИЖНЕЙ СТРАТОСФЕРЫ ЗИМОЙ НА ПРЕДШЕСТВУЮЩИЕ ОСЕННИЕ РЕГИОНАЛЬНЫЕ ВОЗМУЩЕНИЯ У ПОВЕРХНОСТИ В СИБИРИ

Мартынова Ю.В.

Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН (г. Томск)

Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН (г. Москва)

FoxyJ13@gmail.com

Изменения климата могут вызвать изменение характера атмосферного взаимодействия полярных и средних широт, что может вызвать в этих широтах изменение режима циклонообразования, что в свою очередь может спровоцировать усилить и/или участить проявление опасных явлений. Следовательно, важно ясно понимать характер рассматриваемого атмосферного взаимодействия.

В силу климатических особенностей именно в Сибирской части Евразии формируется наиболее обширный снежный покров, вызывающий существенное радиационное выхолаживание на этой территории. Год от года площадь снежного покрова Сибири, а следовательно, и интенсивность радиационного выхолаживания, может существенно варьироваться, что может вносить ощутимое влияние на взаимодействие тропосферы и нижних слоев стратосферы средних и арктических широт не только в период установления снежного покрова, но и в последующий зимний сезон. Знания об особенностях и закономерностях проявления влияния региональных возмущений, возникающих на поверхности в осенний период за счет формирования осеннего снежного покрова, на атмосферные условия последующей зимы (например, предшествующие и сопутствующие атмосферные условия проявления этого влияния, его характер, интенсивность) могут быть использованы в качестве дополнительной информации при составлении сезонных прогнозов погоды.

В 2007 году группа ученых во главе с Cohen J. сформулировала и представила возможный механизм влияния аномалий площади снежного покрова, сформировавшегося осенью, на атмосферные условия последующей зимой в Северном полушарии [1]. Таким образом, вариация осеннего снежного покрова может рассматриваться в качестве предиктора как для формирующихся в последующий зимний сезон аномальных атмосферных условий у поверхности, так и для внезапных стратосферных потеплений. Приведенный механизм является одним из возможных механизмов связи динамики атмосферы Арктики и средних широт. Несмотря на достаточно длинную историю исследований отдельных аспектов рассматриваемого межсезонного взаимодействия снежного покрова и атмосферы, окончательного вывода о его закономерностях научным сообществом пока не сформулировано. Однако, эти знания, помимо их весомости самих по себе, могли бы оказаться чрезвычайно полезными для сезонных прогнозов особенно в контексте текущих и возможных в будущем климатических изменений.

Исследование проводилось с привлечением данных наблюдений, реанализа и данных моделирования. В результате представляемого исследования для средних и арктических широт для условий настоящего климата для осенне-зимнего периода были получены оценки вариации поведения циркуляционных и термических характеристик на различных изобарических уровнях тропосферы и нижних слоев стратосферы, а также пространственно-временных особенностей их отклика на региональные возмущения, формирующиеся в осенний сезон у поверхности, вызванные сезонным формированием снежного покрова.

Было получено, что рассматриваемая связь не имеет постоянного проявления во времени. Предполагается так же, что аномальное количество снега осенью в Сибири и аномалии метеорологических параметров атмосферы инициируются некоторым третьим процессом, развитие которого произошло ранее, возможно, в самом начале осени или конце лета.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 19-17-00248.

1. Cohen J., Barlow M., Kushner P.J., Saito K. 2007. Stratosphere-troposphere coupling and links with Eurasian land-surface variability. *J. Climate*. v. 20, pp. 5335-5343.

СВЯЗЬ ЛЕДОВИТОСТИ АРКТИЧЕСКИХ МОРЕЙ С ТЕМПЕРАТУРОЙ ВОЗДУХА В СЕВЕРНОМ ПОЛУШАРИИ

Матвеева Т.А., Семёнов В.А.

Институт географии РАН (г. Москва)

Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН (г. Москва)

matveeva.tatiana@igras.ru, vashemenov@mail.ru

Одним из самых ярких проявлений происходящих изменений климата является стремительное сокращение арктических морских льдов в последние десятилетия. Площадь льда тесно взаимосвязана с приповерхностной температурой воздуха – колебания температуры и соответствующие им изменения влажности воздуха влияют на морской лед через потоки турбулентного тепла и длинноволновой радиации на границе лед-атмосфера.

Для оценки роли изменчивости площади арктических морских льдов в изменениях климата, лучшего понимания механизмов формирования таких изменений важно оценить связь изменений площади льдов и температуры над континентами Северного полушария.

В качестве источника данных о концентрации морских льдов использован архив HadISST1, который включает в себя сеточные среднемесячные данные по концентрации морского льда и температуре поверхности океана с шагом сетки $1^\circ \times 1^\circ$ за период с 1870 года по настоящее время [1]. Данные о приповерхностной температуре воздуха над сушей база данных CRU TS [2], в которую входят среднемесячные значения температуры воздуха по данным 5583 метеорологических станций за период с 1901 по 2016 гг., интерполированные в узлы сетки с шагом $0,5^\circ \times 0,5^\circ$.

Анализ связи изменчивости приповерхностной температуры воздуха на суше и площади морского льда в арктических морях (Баренцево, Карское, Лаптевых, Восточно-Сибирское, Чукотское, Охотское, Берингово, Баффина, Лабрадор и Гренландское моря) показал наличие ожидаемой значимой отрицательной корреляции вблизи морей. Однако была установлена и связь с удалёнными от моря областями, в т.ч. и в районах, находящихся существенно южнее арктических морей. Такая связь, главным образом, обусловлена влиянием атмосферной циркуляции, Североатлантического колебания, Тихоокеанской декадной осцилляции. В целом, статистически значимые корреляции отмечаются лишь в ограниченных регионах. Максимальные абсолютные значения коэффициента корреляции достигают 0,6-0,8, в т.ч. и в удалённых от моря областях.

Важной для прогноза динамики площади морского льда характеристикой является коэффициент автокорреляции. Выполненный автокорреляционный анализ рядов среднемесячных аномалий отклонений площади морского льда от среднеклиматического сезонного хода показал, что коэффициент корреляции становится не значимым уже на сдвигах в три и более месяца. В Чукотском море аномалии площади морского льда не коррелированы уже при сдвиге в два месяца. Самое медленно убывание коэффициента автокорреляции отмечается в Баренцевом море, где значимая связь между площадью морского льда прослеживается до сдвига в четыре месяца.

Рассмотрены особенности сезонного хода площади покрытия морей льдом, климатические тренды, изменчивость и автокорреляция аномалий ледовитости. Наиболее сильное сокращение площади морских льдов в последние десятилетия наблюдаются в Баренцевом море в зимний период, в Карском, Лаптевых и Восточно-Сибирском морях в летний сезон (вплоть до перехода к безледному режиму в начале XXI века). В то же время в остальных арктических морях на фоне значительной десятилетней и междесятилетней изменчивости ПМЛ, значимого тренда к уменьшению площади льда в последние десятилетия не отмечается.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант №18-05-60216) с использованием результатов, полученных в рамках Программы Президиума РАН «Изменения климата: причины, риски, последствия, проблемы адаптации и регулирования». Оценки причинно-следственных связей климатических процессов проводились в рамках Госзадания (тема № 0148-2019-0009).

1. Rayner N.A., Parker D.E., Horton E.B., Folland C.K., Alexander L.V., Rowell D.P., Kent E.C., Kaplan A. Global analyses of sea surface temperature, sea ice, and night marine air temperature since the late nineteenth century // *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*. – 2003. – V. 108, – №. D14. – P.4407.

2. Harris I., Jones P.D., Osborn T.J., Lister D.H. Updated high- resolution grids of monthly climatic observations—the CRU TS3.10 Dataset // *International journal of climatology*. – 2014. – V. 34. – №. 3. – P. 623-642.

РАЗВИТИЕ ОПАСНЫХ МЕТЕОЯВЛЕНИЙ, СВЯЗАННЫХ С ЭКСТРЕМАЛЬНЫМИ ПОНИЖЕНИЯМИ ТЕМПЕРАТУРЫ ЗИМОЙ, ПО ДАННЫМ СЕТИ МЕТЕОСТАНЦИЙ ТАА-01

Нагорский П.М.^{1,2}, Корольков В.А.¹, Пустовалов К.Н.^{1,2}, Тельминов А.Е.^{1,2}

¹ Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН (г. Томск)

² Томский государственный университет (г. Томск)

E-mail: npm_sta@mail.ru

Периоды сильных морозов, когда минимальная за сутки температура воздуха опускается до значений $\leq -35^{\circ}\text{C}$ в течение 5 суток или $\leq -40^{\circ}\text{C}$ и ниже в течение 3 суток, попадают под критерии для юга Западной Сибири [1] опасных явлений (ОЯ) "Аномально холодная погода" и "Сильный мороз" соответственно, создающих угрозу жизни и здоровью людей. Кроме того, этим ОЯ сопутствуют ледяные туманы, ухудшающие оптические свойства атмосферы [2]. Таким образом, представляется важным исследование условий, способствующих образованию этих ОЯ, а также связанных с ними изменений метеорологического и электрооптического состояния приземного слоя.

В холодный период 2018–2019 гг. было зарегистрировано три случая вторжения арктических воздушных масс, приведшие к существенному понижению температуры: с 3 по 9 декабря 2018 г., с 21 декабря 2018 г. по 2 января 2019 г. и с 28 января по 10 февраля 2019 г. Наиболее продолжительным из них был последний.

Анализ синоптической карт [1] показал, что образованию ОЯ предшествовало отступление Сибирского антициклона к востоку, что способствовало перемещению далеко на юг арктического фронта, разделяющего арктические и умеренные воздушные массы, а также образование антициклона на севере Западной Сибири и его перемещение в южном направлении. Адвективный перенос в западной части "арктического" антициклона способствовало закачиванию арктического воздуха на юго-восток Западной Сибири. По мере приближения центра это антициклона происходило рассеяние облачности, что дополнительно способствовало выхолаживанию приземного воздуха.

Для исследования влияния вторжений арктических воздушных масс зимой и воздействия сильных морозов на динамику метеорологических и атмосферно-электрических величин в приземном слое были использованы данные измерительно-вычислительной системы ИМКЭС СО РАН, расположенной в г. Томске и его окрестностях. Используются данные 3-х из 6 измерительных пунктов, лежащих практически на одной линии и разнесенных на расстояния 6 и 60 км.

Эта сеть представляет собой пилотный вариант системы метеорологического мониторинга для труднодоступных районов Сибири и Арктики. Измерительная сеть оснащена автоматическими метеостанциями ТАА-01, позволяющими измерять и рассчитывать большой набор метеорологических величин и турбулентных параметров, а также другим оборудованием, в том числе датчиками напряжённости электрического поля (E) и полярных электропроводностей (λ_{\pm}). Используются данные метеорологических [3], аэрологических станций [4] и радиометров AVHRR и MODIS [5].

Понижение температуры воздуха (t) до $\sim -40^{\circ}\text{C}$ и ниже приводит к образованию ледяного тумана и практически полному удалению водяного пара (a) из атмосферы (рисунок 1). Удаление водяного пара из атмосферы связано, по-видимому, со спонтанной кристаллизацией и сублимацией, которые при температуре -39°C – -41°C значительно ускоряются. Анализ данных показал, что при понижении температуры и образовании ледяного тумана значения градиента потенциала электрического поля ($\nabla\varphi = -E$) сперва быстро возрастают, а затем уменьшаются. При этом значения λ_{\pm} сильно уменьшаются.

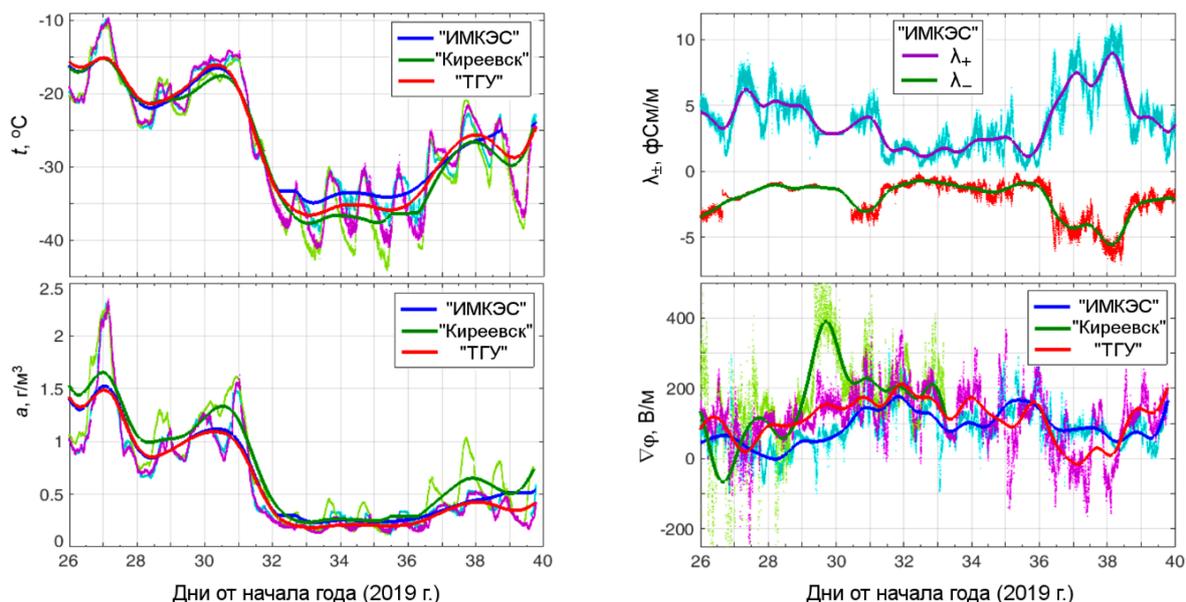


Рисунок 1. Временной ход метеорологических и атмосферно-электрических величин с 26.01.2019 г. по 09.02.2019 г. на берегу р. Обь ("Киреевск"), на берегу р. Томь ("ТГУ") и в Академгородке г. Томска ("ИМКЭС").

Ранее в г. Томске был зарегистрирован другой вариант развития электрических процессов в приземном слое, наблюдающийся при температурах воздуха до $-20\div-30$ °С, при котором значения $\nabla\varphi$ возрастают, а значения λ_{\pm} падают до минимальных значений [6]. В обоих случаях, по-видимому, ключевая роль принадлежит процессам, регулирующим сток легких ионов на аэрозоль [7-8], что приводит к изменению электропроводностей, следовательно, градиента потенциала электрического поля.

Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки России в рамках ФЦП ИР (соглашение № 14.607.21.0205 уникальный идентификатор ПНИ RFMEFI60718X0205).

1. ФГБУ «Западно-Сибирское УГМС». Перечень опасных явлений [Электронный ресурс]. – URL: <http://meteo-nso.ru/pages/115> (дата обращения: 11.02.2018).

2. Пхалагов Ю.А., Ужegov В.Н., Полькин В.В. и др. Исследования изменчивости и взаимосвязи оптических и электрических характеристик приземной атмосферы в зимних условиях // Оптика атмосферы и океана. – 2011. – Т. 24, № 4. – С. 269–274.

3. Расписание погоды. gr5.ru. Погода в Томске. Архив погоды на метеостанции [Электронный ресурс]. Электрон. дан. – URL: http://gr5.ru/Архив_погоды_в_Томске (дата обращения: 12.03.2016).

4. University of Wyoming. Atmospheric Soundings. – URL: weather.uwyo.edu/upperair/sounding.html (дата обращения: 12.03.2016).

5. ФГБУ «Научно-исследовательский центр космической гидрометеорологии «Планета». Сибирский центр. Оперативная продукция. Электрон. дан. – URL: <http://rprod.ru/> (дата обращения: 15.06.2019).

6. Kozlov V.I., Morozov V.N., Nagorskiy P.M., Pustovalov K.N., Toropov A.A. Anomalous behavior of the electric field of the atmosphere at the extremely low winter temperatures // Proc. SPIE. – 2018. – V. 10833. P. – 108338O-1–108338O-4.

7. Морозов В.Н., Куповых Г.В. Теория электрических явлений в атмосфере. Saarbrücken: LAP LAMBERT Academic publishing, 2012. 330 с.

8. Ивлев Л.С., Довгалюк Ю.А. Физика атмосферных аэрозольных систем. – С.-Пб.: НИИХ СПбГУ, 1999. – 194 с.

МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ ОПАСНЫХ ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ ЯВЛЕНИЙ НА ТЕРРИТОРИИ ТОМСКОЙ ОБЛАСТИ

Наджарян А.А., Волкова М.А.

Томский государственный университет (г. Томск)

artak.artak.2010@mail.ru, mv2101@mail.ru

Актуальность изучения опасных гидрометеорологических явлений (ОЯ) обусловлена их увеличением на фоне современных климатических изменений [1–3]. Согласно Докладам Росгидромета об особенностях климата с 1990-х годов к 2012 году зафиксировано увеличение ОЯ в 2 раза [4], в последнее десятилетие их количество варьирует в диапазоне от 760 до 1090 [5]. В течение 2018 года на территории деятельности ФГБУ «Западно-Сибирское УГМС» (Новосибирская, Томская, Кемеровская области, Алтайский край, Республика Алтай) отмечалось 131 ОЯ, из которых 69 метеорологических, 51 гидрологических и 11 агрометеорологических [6]. В ряде случаев (52 случая) ОЯ или комплексы неблагоприятных явлений осложняли деятельность структур экономики или причиняли материальный ущерб, при этом число гидрологических ОЯ, вызвавших ущерб, составило 35 случаев.

Согласно [7] к опасным гидрологическим явлениям относятся половодье, паводок, низкая межень, зазор, затор и раннее ледообразование. Данные явления приводят к формированию социально-экономических ущербов, и в определенной степени могут ограничивать деятельность речной транспортной сети.

Развитие речной транспортной сети на территории Томской области имеет важное стратегическое значение по причине низкой транспортной доступности отдаленных районов области, в целом, интенсивность использования водных путей в регионе не достаточная [8].

В работе представлены результаты анализа опасных гидрологических явлений (паводок, половодье, низкая межень, раннее ледообразование, затор) на территории Томской области. Информационной базой послужили данные об опасных гидрометеорологических явлениях, нанесших социально-экономические ущербы за период с 1992 по 2017 гг. на территории Томской области [9].

Для оценки метеорологических условий формирования гидрологических ОЯ был привлечен комплекс характеристик температурного режима и атмосферных осадков на метеорологических станциях Томской области (Александровское, Колпашево, Средний Васюган, Усть-Озерное и Томск). Были рассмотрены: суточный максимум осадков, суммы осадков в период явления, за 5 и 14 дней до начала явления, число дней без осадков с период ОЯ и за предыдущие 30 дней, сумма атмосферных осадков в период явления, отношение (%) сумм осадков в период ОЯ к климатической сумме, даты устойчивого перехода температуры через 0°C, средняя и минимальная температура воздуха.

Полученные результаты показали, что за период с 1992 по 2017 гг. на территории Томской области наблюдалось 79 опасных гидрологических явлений, нанесших социальные и экономические потери, при этом чаще всего наблюдались половодье и низкая межень. Максимальное число ОЯ наблюдалось в 2012 году (25 % от суммарного числа дней с ОЯ) и было обусловлено низкой меженью. Опасные гидрологические явления наблюдались в период с апреля по октябрь.

За рассматриваемый период было отмечено 4 случая с паводками, нанесшими социально-экономические ущербы: в 2004 (17 дней), 2006 (21 и 18 дней) и 2010 гг. (26 дней), средняя продолжительность составила 21 дней. Паводки наблюдались в апреле, мае и июне на реках Обь и Томь. Половодье с социально-экономическими ущербами наблюдалось в следующие годы: 1992, 1993, 1997-1998, 2002-2004, 2006-2007, 2010, 2013-2017 со средней продолжительностью одного случая – 18 дней. В годовом ходе половодье наблюдалось в апреле, мае и июне на реках Обь, Чая, Чулым, Иня, Бакса, Яя, Чарыш и Кеть. За 1992–2017 гг. на реках Томской области (Томь, Обь и Черная речка) было зафиксировано 4 случая с заторами – в

апреле и мае 1992 и 2014 годов с общей продолжительностью 13 дней. Опасное явление «низкая межень» наблюдалось в 39 случаях в 2002-2006 гг., 2008 году, 2010-2017 гг. Продолжительность одного случая составила от 11 до 110 дней. Низкая межень наблюдалась в период с мая по октябрь, на реках: Васюган, Томь, Чулым, Обь, Кеть, Бия, и Кия. Раннее ледообразование, нанесшее социально-экономические ущербы, было зафиксировано 23 октября 2016 года на реке Томь (на 16 дней раньше климатической нормы).

Метеорологические факторы, связанные с температурой воздуха и атмосферными осадками, в большинстве случаев оказали непосредственное влияние на формирование опасных гидрологических явлений. Так, режим атмосферных осадков до начала и в течение паводка стал причиной ОЯ в 2004 и 2010 годах. На станциях Томск и Колпашево превышение сумм осадков в период паводка 2004 года (14–30 апреля) составило 156 и 125 % от средней многолетней суммы за апрель. В формировании низкой межени ведущую роль сыграло количество дней без осадков до начала ОЯ, а также количество дней без осадков и повышенный температурный фон во время ОЯ. Причиной раннего ледообразования в 2016 году послужили низкие температуры воздуха в октябре на фоне установившегося обширного Сибирского антициклона. Первая декада октября оказалась холоднее на 3,5 °С, а вторая – на 2,2 °С по сравнению с климатическими данными.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант 18-45-700010 р_а).

1. Изменения климата, 2013 г.: Физическая научная основа. Вклад Рабочей группы I в Пятый оценочный доклад Межправительственной группы экспертов по изменению климата / Стокер Т.Ф., Цинь Д., Платтнер и др. Кембридж юниверсити пресс, Кембридж, Соединенное Королевство и Нью-Йорк, США. 2013. 222 с.

2. Второй оценочный доклад Росгидромета об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. – М.: Росгидромет, 2014. 1004 с.

3. Огурцов Л.А., Чередыко Н.Н., Волкова М.А., Журавлев Г.Г. Динамика показателей экстремальности климата на территории Западной Сибири // Оптика атмосферы и океана 2016. Т. 29. № 8 С. 633–639.

4. Доклад об особенностях климата на территории Российской Федерации за 2012 год. Москва: Росгидромет, 2013. 86 с.

5. Доклад об особенностях климата на территории Российской Федерации за 2018 год. – Москва: Росгидромет, 2019. 79 с.

6. ФГБУ «Западно-Сибирское УГМС». Пресс-релиз к Всемирному Метеорологическому Дню – [Электронный ресурс]. URL: <http://meteo-nso.ru/news/more/49> (дата обращения: 11.05.2019).

7. Перечень и критерии опасных гидрометеорологических явлений для территории обслуживания Западно-Сибирского УГМС. – [Электронный ресурс]. URL: <http://www.meteo-nso.ru/pages/115> (дата обращения: 15.12.2018).

8. Стратегия развития транспортной системы Томской области в 2008-2025 годах. Томск, 2008. 58 с.

9. Сведения о неблагоприятных условиях погоды и опасных гидрометеорологических явлениях, нанесших социальные и экономические потери на территории России – [Электронный ресурс]. URL: <http://meteo.ru/data> (дата обращения: 20.12.2018).

НЕКОТОРЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОЦЕНКИ РЕЖИМА ПЕРИОДОВ НЕДОСТАТОЧНОГО УВЛАЖНЕНИЯ (ОПРЕДЕЛЁННЫХ ПО КРИТЕРИЮ, ДИФФЕРЕНЦИРОВАННО УЧИТЫВАЮЩЕГО РЕЖИМ ОСАДКОВ В ЭТИ ПЕРИОДЫ), КАК ИНДИКАТОРА РЕГИОНАЛЬНЫХ КЛИМАТИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ, НА ОСНОВЕ СОЗДАНИЯ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫХ БАНКОВ ДАННЫХ ИЗУЧАЕМЫХ ПЕРИОДОВ, ДЛЯ ЮГО-ВОСТОКА ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

Немировская Л.Г.

Сибирский региональный научно-исследовательский гидрометеорологический институт
(г. Новосибирск)
nemirov@sibnigmi.ru, otg@sibnigmi.ru

В СибНИГМИ выполняются исследования по оценке изменчивости регионального климата [1]. В качестве информационной базы, наряду с данными Государственного фонда ВНИИГМЦ МЦД, создаются региональные базы климатических данных. Используются (как индикатор региональных климатических изменений) – параметры непрерывных периодов наличия и отсутствия осадков, существенно информативные для предпосылок к неблагоприятным гидрометеорологическим условиям. Они определены по ряду критериев – от близкого к стандартам «Климсправочника» (нижний предел осадков – 0,1 мм) названного нами «обобщённым», до показателей, рекомендованных МГЭИК. Созданные банки указанных периодов, а также их «площадных» характеристик, размещены на сайте СибНИГМИ (<http://sibnigmi.ru>) в разделе «Продукция», показатели оценки изменений изучаемых характеристик, – в разделе «Исследования».

С 2017 г. для изучения периодов недостаточного увлажнения, используется вариант критерия, близкого к частично использовавшемуся в [2], для отдельных станций. В настоящей работе критерий – длительность «сухого» периода, прерываемого только осадками, количеством меньше определённых пороговых значений, эффективных для вегетации растений, в чём и состоит дифференцированный учёт их режима, и, опосредованно, промачиваемости почвы. Критерий назван «специальным» в отличие от применяемого несколько ранее и названного нами «обобщённым». По разработанным алгоритмам, программам, макетам банка данных (с учётом адекватного представления о формирующих изучаемые периоды метеорологических процессах) сформирован «Банк данных...» («Каталог...») периодов недостаточного увлажнения, (определённых по «специальному» критерию) для 61 станции региона за имеющийся ряд наблюдений. Отдельно сформирован «Специализированный массив данных о периодах недостаточного увлажнения с определёнными экстремальными температурно-влажностными условиями». Таблица 1 даёт представление об обоих указанных видах «Каталогов».

На основе статистического обобщения характеристик изучаемых периодов в разных временных масштабах выявлены ряд региональных особенностей их распределения – например, значительная продолжительность периодов, заметное их количество длительностью 20-30 и более дней с повышенной повторяемостью в юго-западных районах региона.

Рассчитанные параметры пространственно-временной изменчивости в разных аспектах дают сведения о возможной вероятности (повторяемости) таких периодов, например, о преимуществе весенних месяцев в их сезонном распределении и др., о зонах их повышенной повторяемости по территории и т.д. Разработан подход к картографической интерпретации результатов.

Таблица 1 - Специализированные массивы (каталоги) данных о периодах недостаточного увлажнения (определённых по «специальному» критерию) для станций Новосибирской области (фрагмент).

Название станции	Дата			Длит. периода (дни)	Температура воздуха			Относительная влажность		Атмосферное давление на уровне моря
	Год	Начало	Конец		сред.	средняя максим.	максим.	миним.	сред.	
								9	10	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Татарск	2018	4,07	22,07	19	20,6	26,6	30,1	40,3	60,3	1010,4
								Скорость ветра		
								сред.	максим.	
								12	13	
								2,6	8,9	

Рассмотрение температурно-влажностных условий является важным аспектом данного исследования, учитывая его специфику. Оно реализовано с помощью расчётов повторяемости (вероятности) градаций максимальной температуры и минимальной относительной влажности во время изучаемых периодов в разных методических и пространственно-временных аспектах, иллюстрирует территориальные и сезонные особенности указанных условий, например, повышенную повторяемость неблагоприятных условий увлажнения также в весенние месяцы и др.

Анализ тенденций межгодовых изменений характеристик периодов важен в методическом и прикладном аспекте, и основан на подготовке ежегодных суммарных их значений – по нескольким индикаторным параметрам. Получены предварительные результаты – так, например, на фоне положительного тренда осреднённых значений по региону, отмечена отрицательная тенденция за последнее 30-летие, также и для осреднённых значений Алтайского края и Новосибирской области. Работа в данном направлении продолжается.

Для анализа «площадных» характеристик созданы «Банки данных об изучаемых периодах в соответствии с охватом ими определённого числа метеостанций» в 2-х вариантах учёта градаций «охвата». Расчёт повторяемости процентов охвата числа станций в соответствии с длительностью «охвата» выявляет ситуации с экстремальными площадными характеристиками. На основе анализа межгодовых изменений площадных характеристик периодов (который данное время проводится) имеются также предварительные указания на положительную их тенденцию для случаев охвата $\geq 75\%$ числа использованных метеостанций при длительности его лишь в пределах 6-10 дней, и др.

Результаты исследования при завершении работы – полученные банки данных и показатели оценки изменений изучаемых периодов планируется разместить на сайте СибНИГ-МИ. Они имеют методическое и практическое значение, (не имея аналогов для данного региона), – для уточнения региональных климатических изменений, получения вероятностно-климатической оценки возможного наличия изучаемых периодов, важной для улучшения гидрометеобеспечения региона.

1. Л.Г. Немировская. Исследования изменений климата в региональном аспекте на примере оценки изменчивости некоторых характеристик увлажнения (определённых по нескольким критериям), на основе создания специализированных массивов их данных, для юго-востока Западной Сибири. Материалы конференции «Гидрометеорология и экология: достижения и перспективы», Санкт-Петербург, 18-20 декабря 2018 г., с. 477-481.

2. Опасные явления погоды на территории Сибири и Урала. Часть IV – Л: Гидрометеоиздат, 1987. – 222 с.

ХАРАКТЕРИСТИКИ МЕЗОМАСШТАБНЫХ КОНВЕКТИВНЫХ КОМПЛЕКСОВ ЮГО-ВОСТОКА ЗАПАДНОЙ СИБИРИ ПО ДАННЫМ СПУТНИКОВОГО ЗОНДИРОВАНИЯ

Никитина А.Е.¹, Пустовалов К.Н.^{1,2}, Нагорский П.М.^{1,2}

¹ Томский государственный университет (г. Томск)

² Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН (г. Томск)
anastasia.nikitina.1998@mail.ru

Известно, что с кучево-дождевыми облаками связан комплекс неблагоприятных и опасных метеорологических явлений: смерчи, грозы, шквалы, град, интенсивные ливни и т.д. [1] Наиболее экстремальным проявлением кучево-дождевой облачности являются мезомасштабные конвективные комплексы (МКК) [2], представляющие большую опасность для человека и его хозяйственной деятельности, особенно для авиации. Целью данной работы является оценка морфологических характеристик (размеры, площадь) МКК над юго-востоком Западной Сибири.

На первом этапе исследования в качестве материалов для отбора случаев прохождения МКК использованы обзорные RGB-изображения облачности и подстилающей поверхности первого уровня обработки (L1), полученные на основе данных MODIS во время дневных пролётов спутников Aqua и Terra, взятые с сайта MODIS Atmosphere [3]. Для исследования была выбрана территория от 50 до 60° с.ш. и от 80 до 90° в.д. Всего за тёплый период 2015–2018 гг. была отобрано более 100 случаев МКК на исследуемой территории.

Поскольку визуальная оценка размеров МКК, обладающих общиной наковальней, на основе изображений в видимой части спектра не позволяет получить реальные размеры «основного тела» МКК, представляющего наибольшую опасность, то на втором этапе исследования были привлечены пакеты данных облачных продуктов MODIS (MODATML2 и MYDATML2), представляющие собой продукты второго уровня обработки (L2) [4]. Пакеты ATML2 содержат наборы данных с разрешением 5×5 км. Из этих пакетов использовался продукт Cloud Optical Thickness (COT), содержащий данные об оптической толщине облаков, являющаяся мерой коротковолновой солнечной радиации, поглощённой и рассеянной при прохождении через облака, которая в свою очередь определяется вертикальной мощностью облачности. Таким образом, данный продукт позволяет оценивать пространственную структуру облачных массивов и выделить кучево-дождевую облачность, имеющую максимальную из всех форм облачности вертикальную мощность [1, 2]. Для исследуемых случаев проведена оценка протяжённости вдоль параллели и меридиана МКК (L), в качестве границ которых принималась изолиния COT = 60, позволяющая игнорировать тонкие перистые волокна и отобразить наиболее плотную часть МКК. Далее выполнялся расчёт площадей поперечного сечения МКК (S). Поскольку МКК приближенно имеет форму эллипса, то для расчёта можно применить формула площади эллипса: $S = \pi \cdot R \cdot r$, где R и r – протяженности МКК вдоль долготы и широты, делённые пополам.

Далее рассмотрим повторяемость по месяцам тёплого периода года МКК и их характеристики на территории юго-востока Западной Сибири. Наиболее часто МКК наблюдались в июне–августе с максимумом в июле. В мае зафиксирован всего один случай, а в сентябре МКК не наблюдались. Результаты полученные при оценке протяжённости МКК и их площадей, представлены в таблице 1.

Согласно таблице 1, средние (медианные) размеры МКК над регионом исследования составляют примерно 36 и 110 км вдоль широты и долготы соответственно и изменяются в диапазонах 15–75 и 60–220 км при уровне значимости (α) равном 0,05. При этом площади МКК изменяются в диапазоне 765–10800 км² (при $\alpha = 0,05$), а их медианная величина составляет 1680 км².

Таблица 1. Статистические характеристики протяжённости и площадей МКК.

Статистические характеристики	Длина по широте, км	Длина по долготе, км	Площадь, км ²
Медиана	36,4	110	1680
5-й процентиль	14,9	60,7	765
95-й процентиль	75,4	220	10800

Распределения исследуемых величин, в целом, можно описать степенным законом (рисунок 1). Модальные размеры МКК составляют 25–50 и 50–100 км вдоль широты и долготы соответственно. Наибольшая повторяемость площадей МКК приходится на значения не более 2500 км².

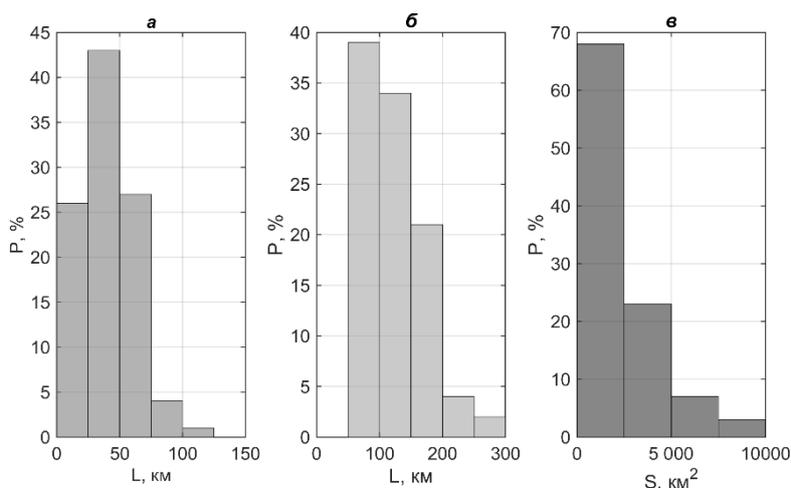


Рисунок 1. Распределения геометрических характеристик МКК над юго-востоком Западной Сибири: *а* – по широте, *б* – по долготе, *в* – по площади.

Получены оценки морфологических характеристик (размеры, площадь) мезомасштабных конвективных комплексов над юго-востоком Западной Сибири за теплый период 2015–2018 гг. Отмечено, что чаще всего МКК наблюдались в июле, в то время как их размеры и по протяжённости, и по площади несколько меньше, чем те же характеристики в июне и августе.

Поддержано госбюджетной темой № АААА-А17-117013050031-8.

1. Назаренко А.В. Опасные природные явления № 3, Опасные явления погоды конвективного происхождения. – Воронеж, 2008. – 62 с.
2. Вельтишев Н.Ф. Мезометеорология и краткосрочное прогнозирование. – Л.: Гидрометеиздат, 1988. – 136 с.
3. MODIS Atmosphere [Электронный ресурс]. – URL: <https://modis-images.gsfc.nasa.gov> (дата обращения 02.05.2019).
4. LAADS DAAC [Электронный ресурс]. – URL: <https://ladsweb.modaps.eosdis.nasa.gov/archive/allData/> (Дата обращения 25.12.2018).

ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ ТЕПЛОВЛАГООБЕСПЕЧЕННОСТИ ВЕГЕТАЦИОННОГО ПЕРИОДА ГОДА НА УРОЖАЙНОСТЬ ЗЕРНОВЫХ КУЛЬТУР В ТОМСКОЙ ОБЛАСТИ

Носырева О.В., Квасова А.Н.

Томский государственный университет (г. Томск)
ov_nosyreva@mail.ru, alinenok_14@mail.ru

В настоящее время изменения климата становятся очевидными все более очевидными. В частности, они влекут за собой изменения в развитии сельского хозяйства, что, в свою очередь, влияет на экономику страны и обострение продовольственных проблем [1]. Неблагоприятные условия тепло- и влагообеспеченности очевидно сказываются на количестве и качестве урожая.

Целью данной работы является исследование параметров тепло- и влагообеспеченности вегетационного периода года и их влияние на урожайность зерновых культур в Томской области.

Для исследования были использованы данные за 58-летний период с 1960 по 2017 гг. о средней суточной температуре воздуха и сумме осадков за вегетационный период, об урожайности сельскохозяйственных культур по станциям Томской области за период с 1985 по 2015 гг. Расчетными характеристиками являлись даты перехода температуры воздуха через 10 °С весной и осенью, суммы температур и осадков; гидротермический коэффициент [3, 4, 8]. Для оценки гидротермических условий вегетационного периода территории Томской области был использован гидротермический коэффициент (ГТК) Г.Т. Селянинова [2].

Средние многолетние значения полученных характеристик приведены в таблице 1.

Таблица 1. Характеристики периода активной вегетации в Томской области.

Станция	Суммы осадков, мм	Суммы температур, °С	Дата перехода весной	Дата перехода осенью	Продолжительность периода, дни	ГТК
Напас	226,4	1554,2	43614	43712	98	1,5
Ср. Васюган	236,5	1693,6	43610	43716	106	1,4
Усть-Озерное	205,6	1652,4	43611	43714	103	1,3
Колпашево	226,7	1701	43610	43716	106	1,3
Пудино	235,5	1731,5	43606	43716	110	1,3
Первомайское	212,8	1865,7	43604	43719	114	1,2
Бакчар	223,9	1771,2	43605	43697	113	1,3
Томск	234,5	1893,2	43602	43721	118	1,2

По рассчитанным значениям ГТК проводился анализ зависимости урожайности зерновых культур от гидротермических условий в Томской области. Урожайность в среднем для Бакчара составляет 10–14 ц/га, для Томска – 13-15,4 ц/га, что характерно в большинстве случаев для значений ГТК 1-1,5, которые соответствуют условиям увлажнения от очень засушливых до влажных. Максимальных значений урожайность достигает при значениях ГТК, находящихся в пределах нормы и незначительно отклоняющихся от нее. Так, например, в Томске в 2003 г. урожайность составила 16,6 ц/га при ГТК, равном 0,7 (слабо-засушливые условия), в 2004 г. – 16,2 ц/га при ГТК 1,7 (избыточно-влажные условия).

На урожайности зерновых культур Томской области сказались погодные условия 1996 и 2012 годов, когда наблюдались ее минимальные значения [7, 9]. Условия тепло- и влагообеспеченности территории в эти годы изменялись от очень засушливых до избыточно

влажных. Урожайность зерновых культур в эти годы составила 4,4–4,9 ц/га в Бакчаре и 6,2–10,0 ц/га в Томске.

Таким образом, в условиях современных климатических изменений главными факторами, определяющими урожайность, являются гидротермические характеристики в период активной вегетации растений. В целом на территории создаются благоприятные агроклиматические условия для возделывания зерновых культур [5, 6].

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-45-700015.

1. Горбатенко В.П., Журавлев Г.Г., Носырева О.В., Волкова М.А., Кижнер Л.И., Константинова Д.А. Современные изменения климатических условий, определяющих накопление снега на автомобильных дорогах Томской области // *Фундаментальная и прикладная климатология*. 2018. Т. 4. С. 39–54.

2. Грингоф И.Г., Пасечнюк А.Д. *Агрометеорология и агрометеорологические наблюдения*. – СПб.: Гидрометеиздат, 2005. – 552 с.

3. Носырева О.В. Климатические показатели термического режима теплого периода и их современные тенденции для юга Западной Сибири: диссертация на соискание ученой степени кандидата географических наук. Томск: Томский гос. ун-т, 2012. 176 с.

4. Носырева О.В., Донгурак Р.Р. Условия формирования осеннего периода года на юго-востоке Западной Сибири / *Сборник научных статей международной молодежной школы-семинара “Ломоносовские чтения на Алтае”*, Барнаул, 5-8 ноября, 2013 в 6 частях. Под редакцией Родионова Е. Д. 2013. С. 324-328.

5. Носырева О.В., Соян Д.А. Агроклиматическое районирование территории юго-востока Западной Сибири / *Материалы международной научной конференции «Климатология и гляциология Сибири»*. 2015. С. 309-312.

6. Носырева О.В., Соян Д.А. Оценка агроклиматической ресурсообеспеченности территории Томской области за период активной вегетации / *Материалы III Международной научно-практической конференции «Современные проблемы географии и геологии»*. Научный редактор: Н. С. Евсеева. ТГУ. 2014. С. 575-579.

7. Носырева О.В., Жохова Д.А. Режим осадков в теплый период года на территории юга Западной Сибири / *Материалы международной научной конференции «Климатология и гляциология Сибири»*. 2015. С. 307-309.

8. Носырева О.В., Пшеницын П.Ю. Климатические условия установления переходных периодов года на юге Западной Сибири / *Тезисы докладов российской конференции «Двенадцатое Сибирское совещание и школа молодых ученых по климато-экологическому мониторингу»*. Под ред. М.В. Кабанова. 2017. С. 74-75.

9. Страшная А.И., Бирман Б.А., Береза О.В. Особенности засухи 2012 г. на Урале и в Западной Сибири и ее влияния на урожайность яровых зерновых культур // *Гидрометеорологические исследования и прогнозы*. 2018. № 2 (368). С. 154-169.

КЛИМАТИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ВЕСЕННЕ-ОСЕННИХ ПЕРЕХОДНЫХ ПЕРИОДОВ ГОДА В ЗАПАДНОЙ СИБИРИ И ИХ ВЛИЯНИЕ НА ДОРОЖНЫЙ ТРАНСПОРТ

Носырева О.В., Никифоров М.А.

Томский государственный университет (г. Томск)

ov_nosyreva@mail.ru

Для большинства районов страны наиболее трудные условия движения наблюдается в зимний и осенне-весенний периоды, а для районов с жарким и сухим климатом – летний период [1, 4]. Наиболее трудные периоды года и должны быть приняты за расчетные при выборе методов и средств обеспечения удобства и безопасности движения.

Целью данной работы является анализ влияния климатических условий на некоторые характеристики и параметры дорог в переходные периоды года в Западной Сибири.

В качестве материалов для настоящего исследования послужили среднесрочная температура поверхности почвы, среднесуточная температура воздуха, суммы осадков за сутки за 50-летний период (1968–2017 гг.) по 18 метеорологическим станциям Западной Сибири. В качестве температурного фактора, влияющего на дороги, были рассчитаны даты, когда наблюдались понижения температуры почвы до 0°C и ниже на фоне среднесуточных температур воздуха выше 5 °C [2–3, 6–7], что в климатологии является опасным гидрометеорологическим явлением теплого времени года – заморозок [8–9, 11]. Дополнительно были отобраны случаи с наличием осадков [5], выпавших за сутки до даты заморозка, которые можно отнести к весенне-осеннему виду скользкости. Далее в работе будут использоваться термины «заморозок» и «скользкость».

Месяцы с наибольшей повторяемостью опасных для транспорта явлений – май и сентябрь (рис. 1).

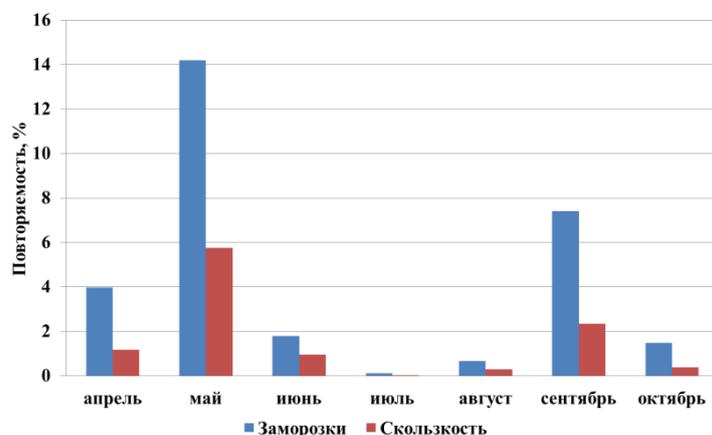


Рисунок 1. Повторяемость заморозков и скользкости по месяцам.

Климатические условия весенне-осенних переходных периодов года существенно влияют на транспортно-эксплуатационные характеристики дорог, на режим и безопасность движения, т.е. на условия движения по дороге и режим ее функционирования, а также на вероятность возникновения дорожно-транспортных происшествий [10]. Таким образом, в Западной Сибири, помимо одного из самых сложных и ответственных в работе дорожных организаций зимнего периода, необходимо учитывать условия переходных периодов с целью усовершенствования мероприятий, рассчитанных на обеспечение удобства и безопасности движения и снижения количества дорожно-транспортных происшествий.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-45-700015.

1. Барашкова Н.К., Иванова Н.С., Кужевская И.В. Климатические условия функционирования автомобильной отрасли Томской области: состояние и возможные изменения // Вестник Томского государственного университета. 2012. № 361. С. 157-164.
2. Барашкова Н.К., Кужевская И.В., Носырева О.В. Климатические характеристики режимов устойчивого перехода температуры воздуха через определенные пределы на юге Западной Сибири / Известия РАН. Серия географическая, 2015. – № 1. – С. 87–97.
3. Барашкова Н.К., Кужевская И.В., Носырева О.В. Переход температуры воздуха через 0 и 5°С на юге Западной Сибири: режим, статистические характеристики и сопутствующие циркуляционные условия // Вестник Томского государственного университета, 2009. – № 325. – С. 191–195.
4. Васильев А.П. Проектирование дорог с учетом влияния климата на условия движения. М.: Транспорт. 1986. 248 с.
5. Носырева О.В., Жохова Д.А. Режим осадков в теплый период года на территории юга Западной Сибири / Материалы международной научной конференции «Климатология и гляциология Сибири». 2015. С. 307-309.
6. Носырева О.В., Пшеницын П.Ю. Климатические условия установления переходных периодов года на юге Западной Сибири / Тезисы докладов российской конференции «Двенадцатое Сибирское совещание и школа молодых ученых по климато-экологическому мониторингу». Под ред. М.В. Кабанова. 2017. С. 74-75.
7. Носырева О.В., Донгурак Р.Р. Условия формирования осеннего периода года на юго-востоке Западной Сибири / Сборник научных статей международной молодежной школы-семинара «Ломоносовские чтения на Алтае», Барнаул, 5-8 ноября, 2013 в 6 частях. Под редакцией Родионова Е. Д. 2013. С. 324-328.
8. Носырева О.В., Соян Д.А. Агроклиматическое районирование территории юго-востока Западной Сибири / Материалы международной научной конференции «Климатология и гляциология Сибири». 2015. С. 309-312.
9. Носырева О.В., Соян Д.А. Оценка агроклиматической ресурсообеспеченности территории Томской области за период активной вегетации / Материалы III Международной научно-практической конференции «Современные проблемы географии и геологии». Научный редактор: Н. С. Евсеева. ТГУ. 2014. С. 575-579.
10. Самодурова Т.В. Метеорологическое обеспечение зимнего содержания автомобильных дорог. Ассоциация «РАДОР» - М.: ТИМР. 2003. 183с.
11. Старикова И.А. Агроклиматическое районирование для периода активной вегетации территории Западной Сибири / Сборник научных статей международной конференции «Ломоносовские чтения на Алтае: фундаментальные проблемы науки и техники». Электронный ресурс. Ответственный редактор: Родионов Е. Д. 2018. С. 1084-1090.

АГРОКЛИМАТИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ТЕПЛОГО ПЕРИОДА ГОДА И ИХ ПРОСТРАНСТВЕННОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ

Носырева О.В., Старикова И.А.

Томский государственный университет (г. Томск)

ov_nosyreva@mail.ru, irina.starikova.96@mail.ru

Для научного обоснования агротехнических мероприятий (при планировании площадей посевов, продвижении культур на север и подборе сортов, применении новой агротехники и т. д.) необходим учет сельскохозяйственной оценки территории.

Пространственное распределение агроклиматических показателей, установление их географических границ (другими словами, картографирование) является начальным этапом составления карт агроклиматического районирования разного масштаба от мировых до карт для отдельного хозяйства [1, 2].

Для исследования использовались данные о средней суточной температуре воздуха, суммах осадков за период с 1960 по 2017 гг. для 34 станций Западной и Восточной Сибири. По полученным данным рассчитаны следующие характеристики: даты устойчивого перехода температуры воздуха через 10°C , суммы температур и суммы осадков за период выше 10°C , гидротермический коэффициент Г.Т. Селянинова ГТК. Исследования агроклиматических параметров теплого и переходного периодов территории Западной Сибири проводились ранее в [3, 8].

Суммы среднесуточных температур воздуха выше 10°C и продолжительность вегетационного периода имеют широтное распределение с севера на юго-запад (рис. 1). Зональность нарушается на территории Восточной Сибири в распределении сумм температур. Значения представленных характеристик в Западной Сибири выше, чем Восточной Сибири. В градации сумм температур $1616,5\text{--}1950,3^{\circ}\text{C}$ и продолжительности вегетационного периода 104–119 дней, соответствующие средней многолетней норме, вошли большинство станций Томской области (Средний Васюган, Пудино, Первомайское, Бакчар, Томск), а также станции соседних регионов (Тюмень, Енисейск, Ачинск, Братск, Красноярск, Тисуль, Нижнеудинск, Иркутск, Чита).

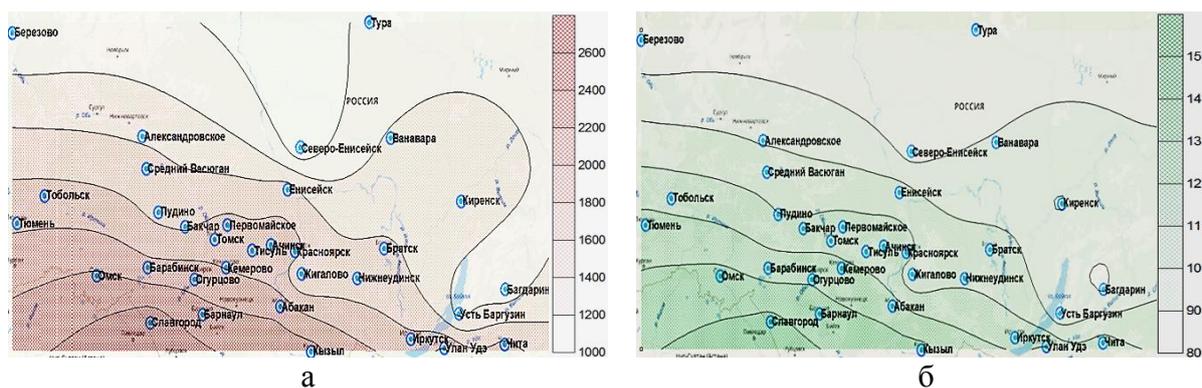


Рисунок 1. Суммы среднесуточных температур воздуха выше 10°C (а) и продолжительность вегетационного периода в днях (б) на территории Западной и Восточной Сибири.

В распределении сумм осадков выражено зональное распределение на территории Западной Сибири (значения сначала увеличиваются от севера к центру территории, затем снова уменьшаются к югу) и меридиональное в Восточной Сибири (с максимальными значениями на юго-востоке территории). Аналогичное распределение характерно для ГТК: уменьшение значений с севера на юг в Западной Сибири и увеличение с запада на восток в Восточной Сибири.

Полученные результаты послужат основой для дальнейшей классификации климатов крупнейшего Сибирского региона на основе показателей разных сезонов года, которые могут быть использованы для решения прикладных задач отдельных секторов экономики, в том числе для сельского хозяйства, транспорта, теплоэнергетики, а также общих вопросов климатологии и географии. Для Западной Сибири такая классификация была проведена в [9, 10].

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант 18-45-700010 р_а).

1. География Сибири в начале XXI века: в 6 т. / гл. ред. В. М. Плюснин, отв. ред.: Ю. И. Винокуров, Б. А. Красноярова. Т. 5: Западная Сибирь. Новосибирск: Гео. 2016. 447 с.

2. Григорьев А.А., Будыко М.И. Классификация климатов СССР. // Изв. АН СССР. Сер. Геогр. 1959. № 3. С. 3-19.

3. Носырева О.В., Жохова Д.А. Режим осадков в теплый период года на территории юга Западной Сибири / Материалы международной научной конференции «Климатология и гляциология Сибири». 2015. С. 307-309.

4. Носырева О.В., Пшеницын П.Ю. Климатические условия установления переходных периодов года на юге Западной Сибири / Тезисы докладов российской конференции «Двенадцатое Сибирское совещание и школа молодых ученых по климато-экологическому мониторингу». Под ред. М.В. Кабанова. 2017. С. 74-75.

5. Носырева О.В. Климатические показатели термического режима теплого периода и их современные тенденции для юга Западной Сибири: диссертация на соискание ученой степени кандидата географических наук. Томск: Томский гос. ун-т. 2012. 176 с.

6. Носырева О.В., Донгурак Р.Р. Условия формирования осеннего периода года на юго-востоке Западной Сибири / Сборник научных статей международной молодежной школы-семинара «Ломоносовские чтения на Алтае», Барнаул, 5-8 ноября, 2013 в 6 частях. Под редакцией Родионова Е. Д. 2013. С. 324-328.

7. Носырева О.В., Соян Д.А. Агроклиматическое районирование территории юго-востока Западной Сибири / Материалы международной научной конференции «Климатология и гляциология Сибири». 2015. С. 309-312.

8. Носырева О.В., Соян Д.А. Оценка агроклиматической ресурсообеспеченности территории Томской области за период активной вегетации / Материалы III Международной научно-практической конференции «Современные проблемы географии и геологии». Научный редактор: Н. С. Евсеева. ТГУ. 2014. С. 575-579.

9. Старикова И.А. Агроклиматическое районирование для периода активной вегетации территории Западной Сибири / Сборник научных статей международной конференции «Ломоносовские чтения на Алтае: фундаментальные проблемы науки и техники». Электронный ресурс. Ответственный редактор: Родионов Е. Д. 2018. С. 1084-1090.

10. Трофимова И.Е., Балыбина А.С. Классификация климатов и климатическое районирование Западно-Сибирской равнины // География и природные ресурсы. Институт географии СО РАН, г. Иркутск. 2014. № 2. С. 11-21.

ДИНАМИКА КОНЦЕНТРАЦИЙ ЛЁГКИХ ИОНОВ ПРИ ПРОХОЖДЕНИИ ЛИВНЕЙ И ГРОЗ

Оглезнева М.В.¹, Пустовалов К.Н.^{1,2}, Нагорский П.М.^{1,2}

¹ Томский государственный университет (г. Томск)

² Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН (г. Томск)
oglezneva.m@yandex.ru

Жизнь человека сосредоточена в приземном слое атмосферы (ПСА), характеризующимся не только метеоусловиями, но и электрическим состоянием. Последнее сильно изменяется под воздействием облачности и атмосферных явлений конвективного происхождения (ливневые осадки, грозы, шквалы и т.д.) [1–4].

В данной работе проведено исследование изменчивости концентрации легких ионов (n_{\pm}) в ПСА при прохождении внутримассовых конвективных облаков, ливней и близких молниевых разрядов по данным экспедиционных измерений в июле 2015 г. в Ширинском районе Республики Хакасия вблизи озёр Итколь и Шира. В экспедиции был использован измерительный комплекс, представленный автоматическими метеостанциями «АМК-03» и «АПИК» (ИМКЭС СО РАН), измерителем напряжённости (E) электрического поля «CS110» (Campbell Scientific, Inc.; USA) и счётчиком концентраций аэроионов «Sapphire-3М» (Центр НТТМ КГТУ им. А.Н. Туполева).

В качестве примера изменчивости n_{\pm} под воздействием внутримассовых Cb рассмотрим случай, зарегистрированный в 18:00 8 июля. Во время этого события отмечено выпадение ливневых осадков и грозовая активность вблизи пункта наблюдения. Прохождению Cb соответствовали медленные вариации градиента потенциала электрического поля ($\nabla\varphi = -E$), которые были представлены основным отрицательным возмущением и более слабым и менее длительным положительным возмущением $\nabla\varphi$ (рисунок 1а). В пункте мониторинга осадков измерено не было, однако вблизи наблюдались полосы выпадения осадков. При этом отмечено небольшое повышение относительной влажности и падение температуры, обусловленное близостью зоны осадков и их испарением. Во время данного события n_{\pm} изменялась от менее 500 см^{-3} перед прохождением Cb до 1500 см^{-3} во время разрядов молний. Близким разрядам молний, характеризующимися сильными изменениями $\nabla\varphi$, соответствовали пики в n_{\pm} . Дополнительная ионизация воздуха предположительно связана с коронными разрядами на остриях (травинки, веточки кустарников и т.д.).

Примером изменчивости n_{\pm} под воздействием фронтальных Cb являлся случай, отмеченный в 20:30 8 июля. Момент пересечения приземной линии холодного фронта хорошо определялся по резкому падению температуры воздуха и росту давления, связанным со смешиванием воздушных масс (рисунок 1б). Зеркально-противоположно температуре воздуха изменялась относительная влажность. Ближайшая к пункту исследования конвективная ячейка находилась в стадии зрелости и с ней была связана интенсивная грозовая активность и очень высокие значения $\nabla\varphi$ (первые два возмущения). За 10 мин до повышения $\nabla\varphi$ и за 15 мин до начала выпадения осадков наблюдалось резкое повышение скорости ветра, связанное с растеканием вдоль поверхности земли интенсивного нисходящего потока из облака. В течении исследуемого события над пунктом выпадали ливневые осадки, во временной структуре которых прослеживались 4 пика. Согласно рисунку 1б, выпадению осадков соответствовал резкий рост n_{\pm} . Отмеченное увеличение n_{\pm} может быть связано с вымыванием аэрозоля из ПСА, являющихся стоками для ионов, а также с ионизацией при разбрызгивании капель.

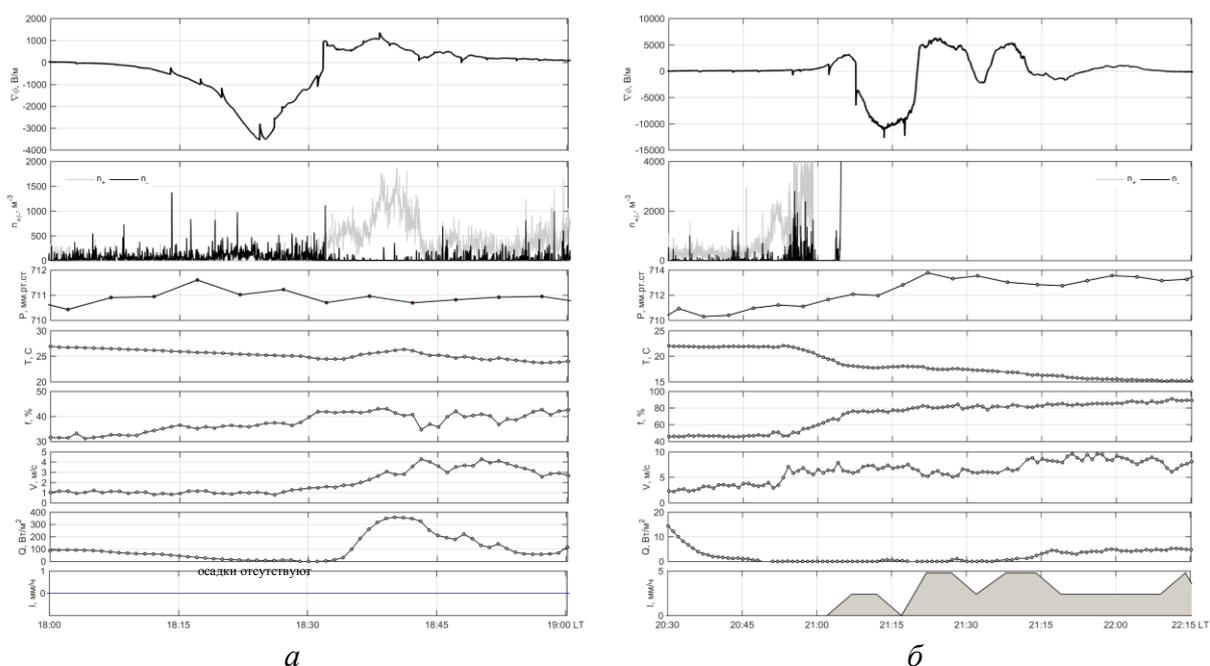


Рисунок 1. Вариации $\nabla\varphi$, n_{\pm} , атмосферного давления (P), температуры воздуха (T), относительной влажности (f), скорости ветра (V), потока суммарной солнечной радиации (Q) и интенсивности осадков (I) в 18:00 (a) и 20:30 (b) 8 июля 2015 г.

Для получения количественных оценок рассчитывались отношения концентраций n_+ и n_- после и до разряда молний и проводился их квантильный анализ. Согласно таблице 1, близкие молниевые разряды приводят к существенному увеличению n_{\pm} относительно фоновых значений.

Таблица 1. Отношения n_{\pm} после и до разряда молний, соответствующие процентилям 5, 50 и 95 %.

Процентиль	n_+	n_-
5%	0,83	0,94
50%	1,0	1,0
95%	1,31	1,84

Заключение. Выпадение ливневых осадков и близкие разряды молнии оказывают значительное влияние на электрическое состояние ПСА, являющееся важным звеном Глобальной электрической цепи.

1. Красногорская Н.В. Электричество нижних слоёв атмосферы и методы его измерения / Н.В. Красногорская – Л: Гидрометиздат, 1972. – 323 с.
2. Смирнов В. В. Ионизация в тропосфере. В. В. Смирнов – СПб.: Гидрометеоздат, 1992. – 309 с.
3. Bennett A. J. Atmospheric Electricity in Different Weather conditions / A. J. Bennett, R. G. Harrison // Weather. – 2007. – V. 62. – P. 277–283.
4. Нагорский П. М. Электродный слой в электрическом поле мощной конвективной облачности / П. М. Нагорский, В.Н. Морозов, С.В. Смирнов, К.Н. Пустовалов. // Известия вузов. Радиофизика. – 2013. – Т. 56, № 11. – С. 853–863.

ЦИРКУЛЯЦИОННЫЕ ПРОЦЕССЫ В АТМОСФЕРЕ И РЕЖИМ ОСАДКОВ ТЕПЛОГО ПЕРИОДА В ЛЕДНИКОВОЙ ЗОНЕ КОДАРА

Осипова О.П.¹, Осипов Э.Ю.², Василенко О.В.¹

¹ Институт географии им. В.Б. Сочавы СО РАН (г. Иркутск)

² Лимнологический институт СО РАН (г. Иркутск)

olga@irigs.irk.ru, eduard@lin.irk.ru

Режим атмосферных осадков определяется циркуляционными процессами и характером подстилающей поверхности, под влиянием которой в горных районах атмосферная циркуляция претерпевает значительные изменения. Пространственно-временной режим осадков для России и для отдельных ее регионов представлен в Оценочном Докладе [1]. Динамика ледников Кодара представлена в работах [2-4]. Целью наших исследований было выявление связей между процессами атмосферной циркуляции и режимом осадков над территорией ледниковой зоны Кодар. Хребет Кодар (высота до 3073 м) расположен в континентальной части Азии на значительном удалении от океанов и простирается с юго-запада на северо-восток на 360 км. В высокогорной области расположено около 40 ледников на высотах 1900-2800 м. Эти ледники имеют уникальное географическое положение (расположены внутри континента и на относительно низких отметках), однако метеорологические условия в ледниковой зоне еще слабо изучены. Глобальные климатические изменения привели к значительной деградации ледников и понимание климатических факторов, обуславливающих изменения баланса массы ледников, является важной задачей. Для оценки динамики изменения количества осадков был проведен анализ данных многолетних наблюдений за осадками на ближайших к району исследований 10 метеостанциях (табл. 1), автоматической высокогорной метеостанции, модели реанализа ERA-Interim и NCEP/NCAR. В качестве исходных данных для анализа полей давления использовались ежесуточные карты барической топографии на высотных уровнях 500, 700 и 850 гПа).

Таблица 1. Характеристики метеостанций использованных в работе

Станция (сокращение)	Широта (°)	Долгота (°)	Высота (м)
Чара (Ч)	56,90	118,27	709
Средний Калар (СК)	55,87	117,37	748
Перевоз (П)	59,00	116,92	330
Джикимда (Д)	59,02	121,77	174
Усть-Нюкжа (УН)	56,58	121,48	430
Средняя Олекма (СО)	55,43	120,55	526
Калакан (К)	55,12	116,77	612
Таксимо (Т)	56,38	114,83	513
Бодайбо (Б)	57,85	114,23	278
Мамакан (М)	57,82	114,02	244

Для определения преобладающих направлений осадкоформирующих воздушных потоков, поступающих в район Кодарского хребта, использовалась модель обратных траекторий HYSPLIT (<http://ready.arl.noaa.gov/hypub-bin/trajsrc.pl>).

На теплое полугодие (апрель-октябрь) приходится от 80 до 95% годового количества осадков. В южной части территории доля осадков за теплый период составляет 90-95 %, в северной – 80-90 % от годовых сумм. На северо-западе (Бодайбо, Мамакан), и северо-востоке (Джикимда) области отмечается наименьший вклад осадков теплого периода в годо-

вые суммы. Средние многолетние суммы атмосферных осадков теплого периода изменялись от 293 мм (Джикимда) до 454 мм (Средняя Олекма). В результате анализа линейных трендов режима осадков было выявлено, что основной тенденцией в перераспределении осадков теплого периода с 1966 по 2018 гг. является их увеличение на всех метеостанциях (за исключением Бодайбо). Статистически значимые тренды прослеживаются на семи из десяти метеостанциях. Увеличение сумм осадков происходило со скоростью от 14,7 до 27 мм/10лет. Максимальные значения трендов наблюдаются на южных метеостанциях: Калакан, Усть-Нюкжа и Средний Калар; минимальные – на севере и северо-западе (Перевоз, Таксимо).

В теплый период осадки обусловлены атмосферными процессами, которые можно разделить на три группы. Первая группа — это циклоны, смещающиеся с запада и северо-запада, приносящие континентальный полярный воздух или морской полярный воздух. Эти процессы способствуют основному снегонакоплению на ледниках Кодара. Вторая группа – это полярные и ультраполярные вторжения арктического воздуха на территорию исследования, типичные для летнего времени, не способствующие значительному увеличению осадков из-за малой водности арктических воздушных масс. Третья группа – атмосферные процессы, способствующие поступлению тропических воздушных масс морского происхождения. Это муссонная циркуляция, обусловленная преобладанием летом над Забайкальем области пониженного давления, а над Тихим океаном и морями восточного побережья азиатской части материка – области высокого давления. В третьей группе можно отдельно выделить юго-западный перенос – вторжение Монгольских циклонов, также приносящих большое количество осадков.

В северной части горной области выпадению осадков способствуют атмосферные процессы первой, а в южной – третьей группы. Таким образом, ледники Кодара находятся в зоне влияния Атлантического (переходные месяцы) и Тихоокеанского (летом) влагопереноса.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 19-05-00668, а также в рамках проектов НИР № 0347-2016-003 и № 0345-2019-0006.

1. Второй оценочный доклад Росгидромета об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. Основной том. Раздел 1. Наблюдаемые изменения климата. — М., Росгидромет, 2014, 235 с.

2. Osipov E. Y. and Osipova O. P. Glaciers of the Levaya Sygykta River watershed, Kodar Ridge, southeastern Siberia, Russia: modern morphology, climate conditions and changes over the past decades // *Environmental Earth Sciences*, 2015, vol. 74, pp. 1969-1984.

3. Osipov E.Y. and Osipova O.P. Mountain glaciers of southeast Siberia: current state and changes since the Little Ice Age // *Ann. Glaciol.*, 2014, vol. 55, pp. 167–176.

4. Osipova O. P. and Osipov E. Y. Characteristics of the circulation regime over Kodar range during the glacier ablation period // *Geography and Natural Resources*, 2014, vol. 35, pp. 77–81.

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ПРИХОДЯЩЕЙ СУММАРНОЙ СОЛНЕЧНОЙ РАДИАЦИИ С УЧЕТОМ ВЛИЯНИЯ ЗАКРЫТОСТИ ГОРИЗОНТА НА ОСНОВЕ GIS

Парежева Т.В.¹, Воронай Н.Н.^{1,2}

¹ Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН (г. Томск)

² Институт географии им. В.Б. Сочавы СО РАН (г. Иркутск)

t.parezhewa@mail.ru, voronay_nn@mail.ru

Суммарная солнечная радиация представляет собой совокупность прямой солнечной радиации, поступающей непосредственно от солнца, и рассеянной радиации, поступающей на горизонтальную поверхность. Топография является основным фактором, определяющим пространственную изменчивость инсоляции. Изменение высот, ориентация (уклон и экспозиция) влияют на количество инсоляции, полученной в различных местоположениях. Эта изменчивость также меняется с течением времени суток и времени года и, в свою очередь, вносит свой вклад в изменчивость микроклимата [1].

Территория исследования – юго-западное Прибайкалье.

Основная цель работы – картографировать с помощью программы ArcGIS приходящую суммарную солнечную радиацию на территории двух котловин и с помощью GIS проанализировать изменение поступающей коротковолновой радиации в зависимости от характеристик рельефа местности (высота, уклон и экспозиция).

Для построения карт распределения солнечной радиации в программе ArcGis используются специальные инструменты, основанные на методах из алгоритма полусферической видимости [2, 3].

Имея собственную цифровую модель рельефа рассматриваемой местности и используя дополнительный модуль в программе ArcGis (Солнечное излучение) были построены карты распределения суммарной солнечной радиации в Тункинской и Мондинской котловинах за период с 1 августа 2015 по 31 августа 2016 гг. В самой программе данные суммарной солнечной радиации рассчитываются в единице измерения – Вт*час/м², но для анализа все эти величины были переведены в МДж/м². Основным условием построения было то, что мы рассматриваем среду со средними условиями атмосферы.

На основе полученных данных видно, что суммарная солнечная радиация (Q) в Тункинской котловине варьирует в течение года в широких пределах от 0 до 961,32 МДж/м², при этом декабре она изменяется в пределах от 9,05 до 70,98 МДж/м², а в июне от 86,67 до 924,90 МДж/м². При этом наибольшие значения суммарной радиации наблюдаются в теплые месяцы (июнь), а наименьшие – в холодные месяцы (декабрь). В зависимости от рельефа местности (выпуклая, вогнутая поверхности) можно заметить, как именно распределяется вся радиация. Так на возвышенностях (выпуклая форма рельефа) суммарной радиации поступает больше, чем на равнинных территориях. В низинах же значения суммарной радиации принимают наименьшие значения.

В Мондинской котловине суммарная солнечная радиация не превышает 967,60 МДж/м², при этом декабре она изменяется в пределах от 4,15 до 70,06 МДж/м², а в июне от 30,79 до 967,60 МДж/м². Основываясь на полученных результатах, получилось, что на территорию Мондинской котловины количество суммарной солнечной радиации поступило на 6,29 МДж/м² больше, чем на территорию Тункинской котловины (если сравнивать их максимальные значения поступающей суммарной солнечной радиации). Это объясняется тем, что в Мондинской котловине высота площадки наблюдения больше, чем на территории Тункинской котловины, в результате туда поступает больше солнечной радиации.

Поступление радиационного тепла к деятельной поверхности в условиях сложного рельефа очень сильно меняется. Эти изменения определяются не только различиями в экспозиции и крутизне склонов, но и в значительной степени условиями закрытости горизонта. Из

чего следует, что правильная оценка невозможна без количественного учета зависимости прихода солнечной радиации от всех орографических факторов [1].

В дальнейшем были оценены характеристики рельефа. Проведена классификация типов подстилающей поверхности по характеристикам рельефа. В соответствии с этими типами проведено сравнение приходящей суммарной радиации на разных участках рассматриваемой территории. На основе полученных сочетаний основных составляющих рельефа рассчитано количество приходящей суммарной солнечной радиации для каждой формы рельефа. Так в Тункинской котловине наибольшее количество суммарной радиации поступает на склоны южной экспозицию (S) при уклоне 60-70° (409,55 МДж/м² – сентябрь; 41,22 МДж/м² – декабрь; 329,01 МДж/м² – март; 754,79 МДж/м² – июнь). Меньше всего солнечной радиации поступает на склоны северной экспозиции при большом уклоне местности. Аналогичное распределение солнечной радиации в зависимости от экспозиции и уклона местности наблюдается и в Мондинской котловине.

1. Трофимова О. В. О суточном ходе прямой солнечной радиации, поступающей на различно ориентированные наклонные поверхности гелиоприемников / О. В. Трофимова // Тр. / ГГО. – 2013. – Вып. 568. – С. 238–249.

2. Rich P. M. Using Viewshed Models to Calculate Intercepted Solar Radiation: Applications in Ecology / P. M. Rich, R. Dubayah, W. A. Hetrick, and S. C. Saving. // American Society for Photogrammetry and Remote Sensing Technical Papers. – 1994. – 524 – 529 p.

3. Dubayah, R. Topographic solar radiation models for GIS/ R. Dubayah, and P. M. Rich // International Journal of Geographical Information Systems. – 1995. – 405–419 p.

ДОЛГОВРЕМЕННЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ АТМОСФЕРНОЙ ЦИРКУЛЯЦИИ НАД СИБИРЬЮ

Поднебесных Н.В.

Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН (г. Томск)
podnebesnykhnv@inbox.ru

В настоящей работе исследуется изменение характеристик циклонов и антициклонов на территории Сибири (50° - 70° с.ш. и 60° - 110° в.д.) для климатически значимого временного интервала 1976-2018 гг. В качестве исходной базы использованы приземные синоптические карты АТ₁₀₀₀ (00, 06, 12, 18 часов СГВ) с последующей ручной обработкой (мануальным трекингом). При изучении циклонов и антициклонов были рассмотрены такие их характеристики как: число, давление в центре (гПа) и продолжительность (сутки).

Методика мануального трекинга описана в работе [1]. Характеристики циклонов и антициклонов, анализируемых в настоящей работе, были получены одним оператором. Для определения допускаемой при этом индивидуальной ошибки была реализована методика, приведенная в работе [2]. Классификация барических образований по траекториям их вхождения на исследуемую территорию приведена в работе [3].

За изученный период с 1976 по 2018 гг. над территорией Сибири отмечено 2315 циклонов и 1827 антициклонов, что в 1,3 раза меньше числа циклонов. Среднегодовое число циклонов для территории Сибири составляет 55,1, антициклонов 44,5.

Изучение динамики числа барических образований показало, что максимальное число циклонов приходит на изучаемую территорию по северо-западным траекториям движения (563 циклона/42 года, при среднем годовом значении 13,4 циклонов), а минимальное число по южным траекториям (245 циклона/42 года, при среднем годовом значении 5,8 циклонов), в то время как максимальное число антициклонов приходит на изучаемую территорию по западным траекториям движения (450 циклона/42 года, при среднем годовом значении 10,7 антициклонов), а минимальное число по северо-западным траекториям (211 циклона/42 года, при среднем годовом значении 5,0 антициклонов).

Анализ многолетней динамики величины атмосферного давления в центрах барических образований показал, что среднее многолетнее значение давления в центрах циклонов в 1976-2018 гг. составляет 1000,1 гПа (изменяясь от 989,6 гПа до 1006,0 гПа), а средняя многолетняя величина давления в центрах антициклонов составляет 1031,3 гПа (изменяясь от 1026,3 гПа до 1040,5 гПа).

Так же анализ средних многолетних значений давления в центрах барических образований выявил, что наиболее глубокими за весь период исследования являются циклоны,двигающиеся по северо-западным траекториям движения (со средним многолетним значением 993,3 гПа), а наименее глубокими местные циклоны (со средним многолетним значением 1011,1 гПа), что не удивительно, поскольку данные циклоны являются неглубокими барическими образованиями с небольшой продолжительностью жизни. Наиболее высокими являются антициклоны с юго-восточными траекториями движения (со средним многолетним значением 1036,3 гПа), а наименее высокими западные антициклоны (со средним многолетним значением 1028,9 гПа).

Изучение продолжительности воздействия барических образований на исследуемую территорию показал, что средняя многолетняя продолжительность циклонов составила 7 суток, а антициклонов 10 суток. Исходя из этого, можно говорить о том, что среднегодовая продолжительность общего воздействия на исследуемую территорию циклонов меньше, чем антициклонов, т.е. в течение года антициклональная погода наблюдалась над территорией Сибири чаще, чем циклоническая.

Анализ средних многолетних значений продолжительности воздействия барических образований показал, что наиболее продолжительными за весь период исследования являются циклоны,двигающиеся по северо-западным траекториям движения (7,4 суток), наименее

продолжительны местные циклоны (3,1 сутки). Наиболее продолжительными являются западные антициклонами (9,2 суток), а наименее продолжительными юго-западные антициклоны (7,1 сутки).

При проведении данной работы было выявлено падение величины давления в центрах циклонов и рост величины давления в центрах антициклонов за последние годы, а если учесть тот факт, что число барических образований в данный период увеличилось, а продолжительность уменьшилась, то можно сказать что все эти факторы являются иллюстрацией неустойчивости атмосферной циркуляции и как следствие нестабильности погоды в последние годы.

1. Поднебесных Н.В., Ипполитов И.И. Характеристики циклонов и антициклонов над Сибирью в конце XX – начале XXI века // Метеорология и гидрология. 2017. № 4. С. 27-37.

2. Чемякова Е.Т., Болтовская М.А., Логинов С.В., Пахместерова М.В., Терскова Н.С. Изменчивость вихревой активности на азиатской территории России в конце 20 и начале 21 веков // Десятое сибирское совещание по климато-экологическому мониторингу: тез. Рос. конф. / под ред. М.В. Кабанова. Томск: изд-во Аграф-Пресс. 2013. С. 157.

3. Neu U., Akperov M.G., Bellenbaum N., Benestad R., Blender R., Caballero R., Coccozza A., Dacre H.F., Feng Y., Fraedrich K., Grieger J., Gulev S., Hanley J., Hewson T., Inatsu M., Keay K., Kew S.F., Kindem I., Leckebusch G.S., Liberato M.L.R., Lionello P., Mokhov I.I., Pinto J.G., Raible C.C., Reale M., Rudeva I., Schuster M., Simmonds I., Sinclair M., Sprenger M., Tilinina N.D., Trigo I.F., Ulbrich S., Ulbrich U., Wang X.L., Wernli H. IMILAST: A Community Efforts to Intercompare Extratropical Cyclone Detection and Tracking Algorithms // Bull. Am. Meteor. Soc. 2013. V. 94. P. 529-547.

МОДИФИКАЦИЯ АТМОСФЕРНО-ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ СМОГА ОТ ПРИРОДНЫХ ПОЖАРОВ НА ТЕРРИТОРИИ СИБИРИ

Пустовалов К.Н.^{1,2}, Нагорский П.М.^{1,2}, Кабанов М.В.¹

¹ Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН (г. Томск)

² Томский государственный университет (г. Томск)

const.pv@yandex.ru

Известно, что при прохождении облаков, особенно осадкодающих форм, и различных атмосферных явлений наблюдается искажение электрического поля в приземном слое атмосферы, характерного для условий «хорошей погоды». Согласно [1, 2], значимое влияние на величину электрического поля и его динамику оказывают также дымы от лесных пожаров. Однако, проведенные исследования основываются на единичных случаях и не дают репрезентативных количественных оценок влияния данного фактора на электрическое состояние приземного слоя. Цель данного исследования: количественная оценка влияния дымовых шлейфов от лесных пожаров на территории Сибири на атмосферное электрическое поле на основе большого числа случаев.

Для решения поставленной цели были использованы среднeminутные данные градиента потенциала электрического поля ($\nabla\phi$) за период 2006–2016 гг., полученные на геофизической обсерватории ИМКЭС СО РАН (г. Томск) с помощью флюксметра «Поле-2», а также данные за соответствующий период спектрорадиометров MODIS (спутники Terra и Aqua), VIIRS (спутник Suomi NPP) [3] и метеорологических наблюдений в стандартные сроки на ГМС «Томск» [4], расположенной ~ 6 км от ИМКЭС СО РАН.

На основе спутниковых изображений, полученных во время дневных пролётов спутников (12:00–14:30), были выделены случаи прохождения над г. Томском дымовых шлейфов от лесных пожаров в Сибири. В подавляющем большинстве выделенных случаев источники лесных пожаров располагались на большом расстоянии от пункта исследования. Далее, на основе данных ГМС «Томск» в ближайшие после пролётов спутников сроки, из выделенных случаев исключались те, во время которых в пункте исследования отмечалось прохождение *Cb*, *Ns*, *St*, *Sc*, *Cu* и *As* облаков, а также связанных с ними атмосферных явлений. В результате фильтрации было отобрано 65 случаев.

Для отобранных случаев в интервалы времени, соответствующие ± 30 минут относительно моментов пролётов спутников, были выделены вариации $\nabla\phi$ и проведен их статистический анализ. Кроме того, анализировалась динамика метеорологических величин в пункте исследования, в том числе горизонтальная дальность видимости.

Анализ выделенных вариаций $\nabla\phi$ показал следующее. Распределение значений $\nabla\phi$ при прохождении дымового шлейфа над г. Томском отличается от аналогического распределения при невозмущённых атмосферных условиях, характеризующихся отсутствием любой облачности и атмосферных явлений: само распределение становится более островершинным, а его мода сдвинута в сторону нулевых значений (рисунок 1).

Медианная величина $\nabla\phi$ при прохождении дымового шлейфа в 3 раза меньше аналогичной величины при отсутствии облачности и атмосферных явлений. При этом полный и интерквартильный размах значений $\nabla\phi$ под воздействием дымов от лесных пожаров соответственно в 1,9 и 1,4 раз меньше, чем при невозмущённых условиях (таблица 1).

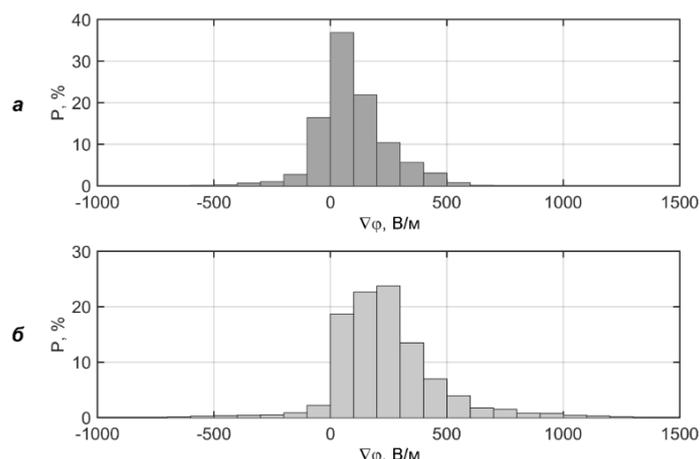


Рисунок 1. Распределение значений $\nabla\varphi$ при прохождении дымового шлейфа (а) и при невозмущённых атмосферных условиях (б) в Томске за 2006–2016 гг.

Согласно ГМС «Томск», горизонтальная дальность видимости в 89% случаев составляла 10–20 км и лишь в 11% случаев падала до 2–4 км, то есть регистрировалась мгла. Анализ данных аэрологического зондирования [5] и данных облачного лидара CALIOP (спутник CALIPSO) [6] показал, что дымовым шлейфам соответствовали приподнятые инверсии на высотах 1–5 км, под которыми скапливался дымовой аэрозоль. Исходя из этого, следует заключить, что дым распространялся преимущественно в средней и верхней тропосфере, создавая приподнятый над землёй аэрозольный слой.

Таблица 1. Медиана (Me), интерквартильный размах (IQR), а также минимальные и максимальные значения $\nabla\varphi$ при $\alpha = 0,05$ ($q(0,025)$ и $q(0,975)$) при прохождении дымовых шлейфов и при невозмущённых атмосферных условиях (в В/м).

Атмосферные условия	Me , В/м	IQR , В/м	$q(0,025)$, В/м	$q(0,975)$, В/м
Прохождение дымового шлейфа	70	170	-100	390
Невозмущённая атмосфера	210	230	-140	800

Таким образом, дымы от удаленных лесных пожаров приводят к падению в 3 раза значений $\nabla\varphi$ и уменьшению его дисперсии одновременно над большими территориями. Учёт этого фактора в моделях ГЭЦ особенно важен в связи со значительным учащением лесных пожаров в северной Евразии, наблюдаемыми в начале XXI века.

Поддержано госбюджетной темой № АААА-А17-117013050031-8.

1. Пхалагов Ю.А., Ужегов В.Н., Панченко М.В., Ипполитов И.И. Электрооптические связи в атмосфере в условиях дымового смога / Оптика атмосферы и океана. – 2006. – Т. 19, № 10. – С. 861–864.

2. Ипполитов И.И., Кабанов М.В., Нагорский П.М., Пхалагов Ю.А., Смирнов С.В. Суточные вариации напряженности электрического поля в дымах от лесных // Доклады Академии наук. – 2013. – Т. 453, № 2. – С. 207–210.

3. EOSDIS Worldview [Электронный ресурс]. – URL: <https://worldview.earthdata.nasa.gov/> (дата обращения: 14.02.2019).

4. ВНИИГМИ-МЦД [Электронный ресурс]. – URL: <http://meteo.ru/> (дата обращения: 18.02.2019).

5. College of DuPage Next Generation Weather Lab (NEXLAB) [Электронный ресурс]. – URL: <http://weather.cod.edu/digatmos/upa> (дата обращения: 20.03.2019).

6. CALIPSO–Products–Lidar Browse Images of Productions Release [Электронный ресурс]. – URL: <http://www-calipso.larc.nasa.gov/products/> (дата обращения: 22.03.2019).

ПЛОТНОСТЬ РАЗРЯДОВ МОЛНИЙ НА ЮГО-ВОСТОКЕ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ ПО ДАННЫМ OTD И WWLLN

Пустовалов К.Н.^{1,2}, Харюткина Е.В.¹, Логинов С.В.¹, Нагорский П.М.^{1,2}

¹ Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН (г. Томск)

² Томский государственный университет (г. Томск)
const.pv@yandex.ru

Вплоть до конца XX века источниками информации о грозах являлись визуальные наблюдения на метеостанциях и эпизодические инструментальные наблюдения с помощью грозопеленгаторов, что не позволяло получить надёжных оценок о плотности разрядов молний над конкретной территорией. Начиная с 90-х гг. XX века дополнительными источниками информации о грозах стали метеорологические спутники. Так, с 1995 по 2000 гг. регистрация гроз из космоса осуществлялась с помощью аппарата Optical Transient Detector (OTD), установленного на спутнике MicroLab-1, а с 1997 по 2015 гг. – аппаратом Lightning Imaging Sensor (LIS) на спутнике TRMM [1]. С начала XXI в. в мире активно развивается Всемирная сеть локализации молний – World Wide Lightning Location Network (WWLLN), дающая оперативную информацию о грозовой активности над всем земным шаром посредством регистрации электромагнитных сигналов от гроз в ОНЧ-диапазоне (3–30 кГц) [2].

Ранее были получены оценки плотности разрядов молний на основе данных OTD [3], однако исследование выполнено только для территории Томской области. В исследованиях [4, 5] на основе данных WWLLN было получено распределение плотности разрядов молний над Северной Евразией и Томской областью, однако расчёт выполнялся по данным за 2009–2014 гг. и 2010–2015 гг. соответственно и для относительно грубой сетки. В этом исследовании ставилась цель оценить распределение плотности разрядов молний над юго-востоком Западной Сибири на основе данных OTD и WWLLN (за 2016–2018 гг.) и провести их согласованный анализ.

Грубая оценка распределения грозовой активности на юго-востоке Западной Сибири осуществлялась на основе данных плотности разрядов молний с разрешением по долготе и широте $0,5^\circ \times 0,5^\circ$ (продукт High Resolution Full Climatology [1]), полученных на основе данных спутникового детектора молний OTD за период с 1995 по 2000 гг.

Для оценки распределения плотности разрядов молний над данным регионом с высоким пространственным разрешением были использованы данные координат разрядов молний, зарегистрированных грозопеленгационной сетью WWLLN за 2016–2018 гг. [2]. На основе данных WWLLN рассчитывалась количество разрядов молний для сетки с ячейками $0,1^\circ \times 0,1^\circ$ по долготе и широте отдельно для каждого года и среднее за 2016–2018 гг. Затем определялась площадь каждой ячейки, а на её основе рассчитывалась плотность разрядов молний [число разрядов/(км²·год)].

Анализ плотности разрядов молний по данным OTD и WWLLN показал, что над юго-востоком Западной Сибири можно условно выделить пять основных очагов грозовой деятельности – «Алтайский», «Горно-Алтайский», «Салаирский», «Кузнецкий» и «Васюганский» (Рисунок 1). «Алтайский» очаг располагается над Приобским плато, «Горно-Алтайский» – над северо-западными склонами Алтайских гор, «Салаирский» – над северо-западной частью Салаирского кряжа, «Кузнецкий» – над западными и северными склонами Кузнецкого Алатау, а «Васюганский» – в юго-восточной части Васюганской равнины (Большого Васюганского болота). «Алтайский», «Салаирский» и «Кузнецкий» очаги образуют «основную ось» перемещения гроз на юго-востоке Западной Сибири, направленную с юго-запада на северо-восток.

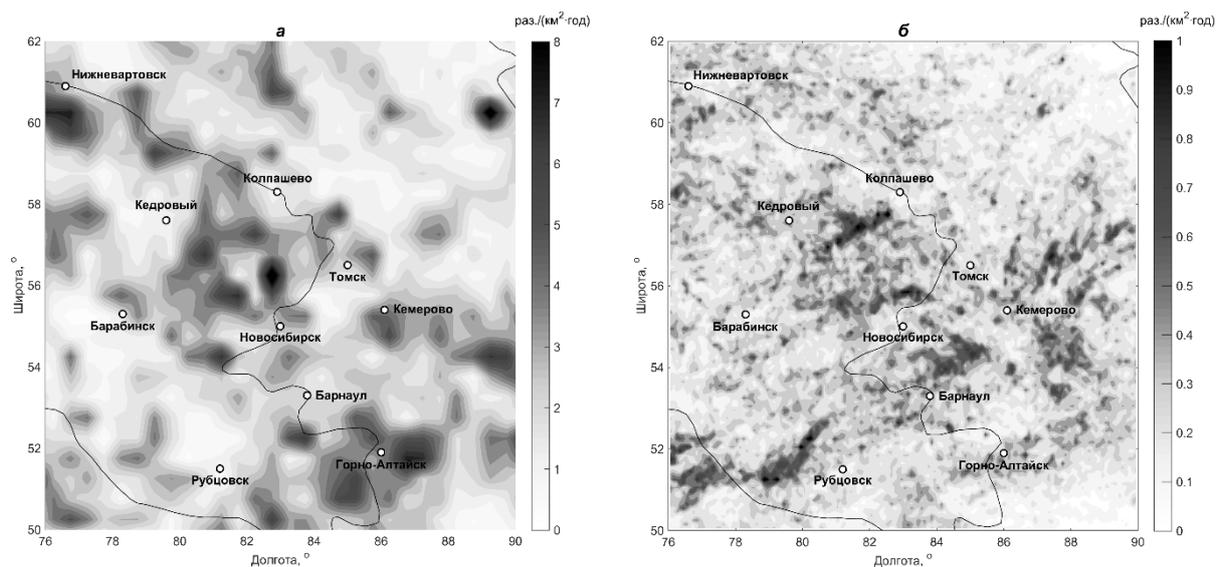


Рисунок 1. Сглаженные распределения плотности разрядов молний на юго-востоке Западной Сибири по данным OTD (а) и WWLLN (б).

Анализ временной динамики очагов показал, что в отдельные годы могут значительно активизироваться «Горно-Алтайский» и «Васюганский» очаги. Так, в 2018 г. отмечено, что плотность молний в «Васюганском» очаге значительно превышала аналогичную величину в других очагах. Активизацию этого очага можно объяснить тем, что в июне–июле 2018 г. над юго-востоком Васюганской равнины, согласно спутниковым данным, отмечалось прохождение большого числа мезомасштабных конвективных комплексов, для которых характерна высокая грозовая активность.

Заключение. Получены оценки распределения плотности разрядов молний над юго-востоком Западной Сибири на основе данных OTD и WWLLN. Выявлены основные очаги грозовой активности, проведён анализ их динамики.

Выполнено при частичной поддержке РФФИ и администрации Томской области, научный проект № 18-45-703014.

1. Global Hydrology Resource Center (GHRC) [Электронный ресурс]. – URL: <https://ghrc.nsstc.nasa.gov/pub/lis/climatology/LIS-OTD/HRFC/> (дата обращения 15.03.2019).

2. WWLLN – World Wide Lightning Location Network [Электронный ресурс]. – URL: <http://webflash.ess.washington.edu> (дата обращения 20.03.2019).

3. Горбатенко В.П. Пространственное распределение плотности разрядов молнии в землю над территорией Западной Сибири / В.П. Горбатенко, Т.В. Ершова, Д.А. Константинова // Вестник томского государственного университета. – 2009. – № 329. – С. 251–255.

4. Tarabukina L.D. Spatial Pattern of Lightning Strikes in North Asia / L.D. Tarabukina, V.I. Kozlov, R.R. Karimov, V. A. Mullayarov // Russian Meteorology and Hydrology. – 2017. – V. 42, №. 2. – P. 88–94.

5. Karanina S. Yu. Spatial and temporal distribution of lightning discharges over Tomsk region according to WWLLN data for 2010-2015 / S. Yu. Karanina, N. Kocheeva, M. Belikova, N. Baranovskiy // Advances and Applications in Statistics. – 2018. – V. 52, – № 5. – P. 339–362.

ОЦЕНКА АЭРОТЕХНОГЕННОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ В ОКРЕСТНОСТЯХ УГОЛЬНОЙ ТЭЦ ПО ДАННЫМ ИЗУЧЕНИЯ СНЕГОВОГО ПОКРОВА (НА ПРИМЕРЕ СЕВЕРСКОЙ ТЭЦ)

Самойлова Е.А., Таловская А.В.

Томский политехнический университет (г. Томск)
melhmelll@gmail.com

Основной причиной загрязнения наземных экосистем являются атмосферные выпадения аэрозолей, в том числе атмосферная пыль естественного и техногенного происхождения. Снеговой покров выступает в роли долговременной депонирующей среды, что позволяет определить и картировать устойчивую структуру атмосферных выпадений для широкого круга компонентов [2-3].

Отбор 14 проб снежного покрова производился в феврале 2014-2015 гг. Отбор и подготовка проб снега проводились с учетом рекомендаций, описываемых в работах [1-2]. Пробы отбирались в северо-восточном и юго-западном направлениях. Изучение проб проводилось инструментальным нейтронно-активационным анализом (28 элементов), на бинокулярном стереоскопическом и электронном сканирующем микроскопах в МИНОЦ «Урановая геология» в ТПУ.

В сравнении с другими объектами теплоэнергетики наибольший показатель пылевой нагрузки ($574 \text{ мг/м}^2 \cdot \text{сут}$) соответствует ТЭЦ г. Северска в 2014 году (рисунок 1). Замена очистных установок и реконструкция оборудования ТЭЦ г. Северска значительно снизила показатель пылевой нагрузки в 2015 году в сравнении с 2014 г. и изменила степень загрязнения территории с высокой на низкую по градации [2]. Наиболее близкая к фоновому значению ($7 \text{ мг/м}^2 \cdot \text{сут}$ [3]) и наименьшая величина пылевой нагрузки определена вблизи газовой котельной п. Лучаново ($10 \text{ мг/м}^2 \cdot \text{сут}$).

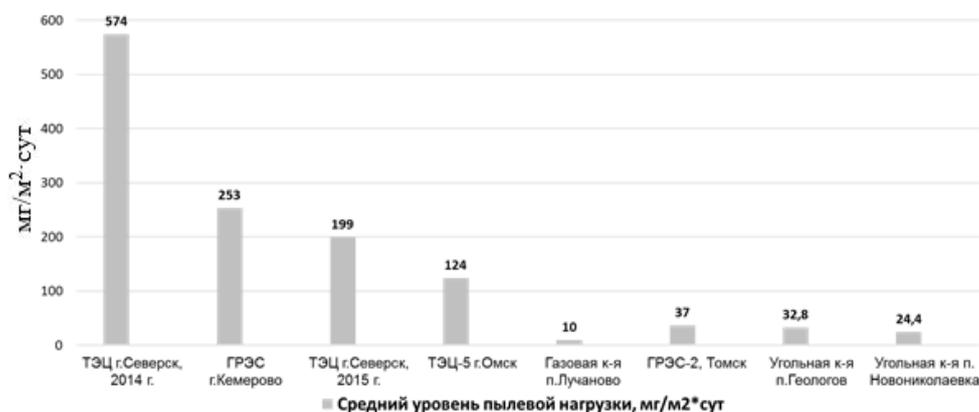


Рисунок 1. Величины пылевой нагрузки в зоне влияния объектов теплоэнергетики ($\text{мг/м}^2 \cdot \text{сут}$). Примечание: согласно градации [2]: $100\text{--}250 \text{ мг/м}^2 \cdot \text{сут}$ - низкая степень загрязнения; $251\text{--}450$ – средняя степень загрязнения; $451\text{--}850$ – высокая степень загрязнения; $> 850 \text{ мг/м}^2 \cdot \text{сут}$ – очень высокая степень загрязнения.

Сравнение с фоновыми содержаниями химических элементов показало наибольшие коэффициенты концентрации (КК) в 2014 и в 2015 годах в северо-западном и юго-восточном направлениях для группы элементов – U, Ta, La, Tb, Yb (рисунок 2). Согласно градации [2] по степени загрязнения для снежного покрова исследуемой территории в северо-восточном направлении в 2014 и 2015 гг. характерна высокая степень загрязнения. В 2015 году в юго-западном направлении степень загрязнения изменилась с высокой до средней в сравнении с 2014 годом.

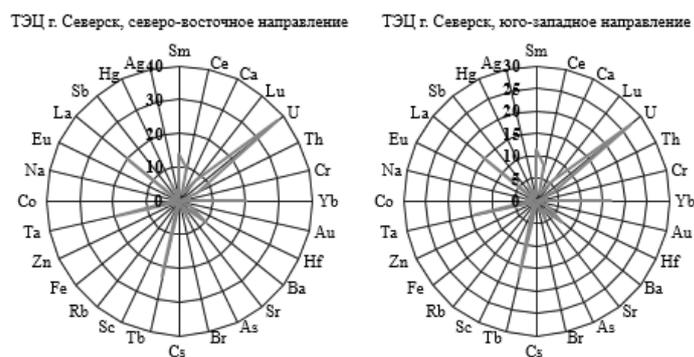


Рисунок 2. Среднее значение коэффициентов концентрации химических элементов относительно фона [3] в северо-восточном и юго-западном направлениях от Северной ТЭЦ (среднее за 2014-2015 гг.)

В пробе, отобранной на расстоянии 0,5 км от ТЭЦ с помощью бинокулярного микроскопа зафиксировано большое количество металлических и алюмосиликатных микросферул (рисунок 3а). Оксид урана определен в пробе твердого осадка снега, отобранной в окрестностях ТЭЦ (рисунок 3б).

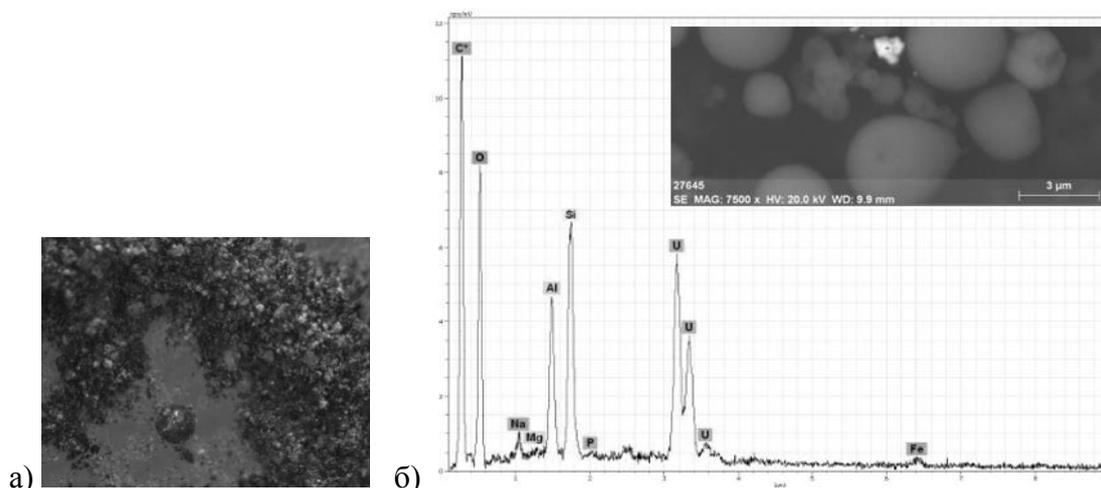


Рисунок 3. Частицы в пробах твердого осадка снега в окрестностях ТЭЦ: а) металлические микросферулы под бинокулярным стереоскопическим микроскопом; б) оксид урана (1 мкм) под электронным сканирующим микроскопом.

В результате работы определена низкая степень загрязнения в окрестностях ТЭЦ, выявлены элементы с наибольшими коэффициентами концентраций и зафиксированы техногенные частицы в пробах твердого осадка снега.

1. Бортникова С.Б., Рапуга В.Ф., Девятова А. Ю. Методы анализа данных загрязнения снегового покрова в зонах влияния промышленных предприятий (на примере г. Новосибирска) // Геоэкология. – Москва. – 2009. – №6. – стр. 515-525.
2. Сагет Ю. Е., Ревич Б. А., Янин Е. П. Геохимия окружающей среды. – Москва, 1990. – 335 с.
3. Язиков Е.Г., Таловская А.В., Жорняк Л.В. Оценка эколого-геохимического состояния территории г. Томска по данным изучения пылеаэрозолей и почв: Монография. Томск: Изд-во ТПУ, 2010. 264 с.

РАДИАЦИОННЫЙ И СИНОПТИЧЕСКИЙ РЕЖИМ ТОМСКА В КОНЦЕ XX – НАЧАЛЕ XXI ВВ.

Скляднева Т.К., Белан Б.Д., Рассказчикова Т.М., Аршинова В.Г.
Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН (г. Томск)
tatyana@iao.ru

В настоящее время одной из важнейших проблем, стоящих перед человечеством, является глобальное потепление климата, отнесенное международным сообществом к глобальным вызовам из-за возможных катастрофических последствий для окружающей среды. Исследования показали, что потепление обусловлено рядом причин, в том числе колебаниями потоков солнечной радиации и изменением крупномасштабной атмосферной циркуляции.

Сотрудники Института оптики атмосферы им. В.Е.Зуева СО РАН ведут многолетний непрерывный мониторинг атмосферных параметров в приземном слое атмосферы на ТОР-станции [1], расположенной на северо-восточной окраине Томского Академгородка (координаты: 56°28'41" с.ш., 85°03'15" в.д.), а также формируют базы данных синоптических ситуаций по результатам ежедневной обработки приземных синоптических карт и карт барической топографии.

В докладе анализируются изменения суммарной солнечной радиации, облачности, продолжительности солнечного сияния (ПСС), приземной температуры воздуха, а также барических образований и типов воздушных масс за период 1996–2018 гг. в Томске. Проведена оценка изменения ПСС и температуры путем сравнения средних значений за рассматриваемый период с нормами исторического (1961-1990 гг.) и текущего базового (1981-2010 гг.) периода, определенных Всемирным Метеорологическим конгрессом в 2015 году.

Показано, что среднегодовой приход суммарной солнечной радиации за 23-летний период составил 3783 ± 226 МДж/м², а коэффициент вариации годовых сумм суммарной радиации равнялся 6%. Наблюдается тенденция незначительного спада годового поступления суммарной радиации в Томске. Относительная величина тренда составила -3% (рис.1). Увеличивается количество общей и нижней облачности (относительная величина тренда 2% и 6% для общей и нижней облачности соответственно). В общей облачности наблюдаются тенденции увеличения вклада облаков верхнего яруса и уменьшения – облаков среднего яруса. Отмечена достаточно высокая повторяемость пасмурного неба (10/10 баллов) от 15 до 27%, что повлекло уменьшение соотношения наблюдаемого годового значения ПСС к теоретически возможной продолжительности солнечного сияния в отдельные годы до 41%.

Сокращается продолжительность солнечного сияния и в то же время увеличивается приземная температура воздуха. С 1953 по 2018 гг. в Томске наблюдается тенденция роста температуры (относительная величина тренда 65%). В рассматриваемый период (1996-2018 гг.) практически во все месяцы имеет место рост температуры относительно текущего базового периода (1981-2010 гг.), при этом рост температуры явно замедлился по сравнению с историческим периодом (1961-1990 гг.).

За период с 1993 по 2018 г. в Томске повторяемость циклонов (Zn) и антициклонов (Az_n) составила 15 и 20% соответственно, контрастных зон – 10%, ложбин и гребней – 19 и 13%, малоградиентных полей – 15 и седловин –6%. Из рисунка 1 видно, что повторяемость циклонов и антициклонов меняется от года к году. Циклонические условия чаще всего наблюдались в период 1993-2002 гг. (P=14-28%). В период 2003-2011 гг. повторяемость циклонов была минимальной (9-12%). Аналогичные тенденции прослеживаются и для антициклонов. В период 2003-2018 на 10% возросла повторяемость гребней и на 20% чаще стали наблюдаться ложбины по сравнению с 1993-2002 гг. Повторяемость седловин сохраняется на уровне 5% практически в течение всего исследуемого периода. Малоградиентные поля встречаются чаще и колеблются в пределах 10-20%, а контрастные зоны – от 9 до 15%.

Наблюдается тенденция снижения поступления в наш регион арктической воздушной массы и роста повторяемости субтропического воздуха. За последние 10 лет повторяемость

субтропической воздушной массы увеличилась в среднем на 12%. Следует отметить, что в 2011-2017 гг. частота вторжения субтропического и арктического воздуха в район Томска была практически одинаковой (22-30%). Повторяемость умеренной воздушной массы колебалась в пределах 32-53%. В последнее десятилетие в нашем регионе чаще стала наблюдаться тропическая воздушная масса. Максимальная повторяемость тропической воздушной массы 6% отмечена в 2015 году.

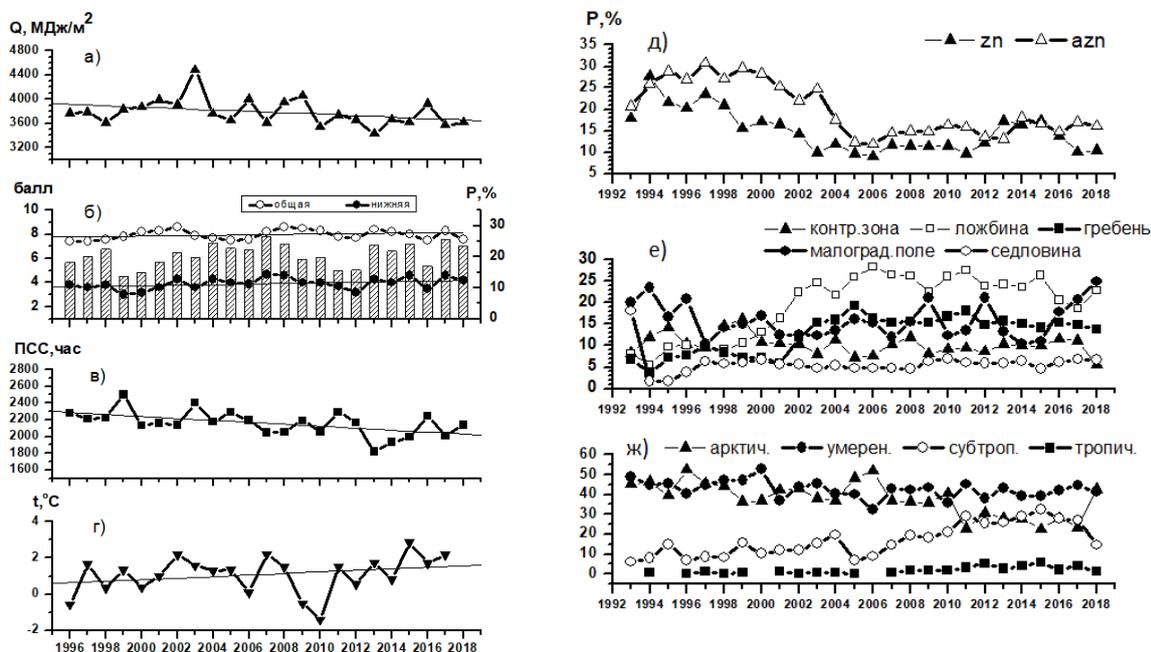


Рисунок 1. Многолетние изменения параметров атмосферы в Томске. а) суммарная солнечная радиация, б) общая и нижняя облачность, повторяемость пасмурного неба (10/10 баллов); в) продолжительность солнечного сияния ПСС; г) температура; повторяемость циклонов и антициклонов (д), синоптических образований (е), типов воздушных масс (ж).

Работа выполнена при поддержке гранта РФФ № 17-17-01095 «Исследование динамики состава воздуха и процессов ее определяющих в Сибирском регионе в условиях изменяющегося климата».

1. Давыдов Д.К., Белан Б.Д., Антохин П.Н., Антохина О.Ю., Антонович В.В., Аршинова В.Г., Аршинов М.Ю., Ахлестин А.Ю., Белан С.Б., Дудорова Н.В., Ивлев Г.А., Козлов А.В., Пестунов Д.А., Расказчикова Т.М., Савкин Д.Е., Симоненков Д.В., Скляднева Т.К., Толмачев Г.Н., Фазлиев А.З., Фофонов А.В. Мониторинг атмосферных параметров: 25 лет ТОР-станции ИОА СО РАН // Оптика атмосферы и океана. 2018. Т. 31, N 10. С.845-853.

ЭРИТЕМНОЕ И БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНОЕ УФ-ИЗЛУЧЕНИЕ: РЕЗУЛЬТАТЫ МОНИТОРИНГА

Смирнов С.В.

Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН (г. Томск)
smirnov@imces.ru

Солнечное излучение с длинами волн от 280 до 3000 нм, падающее на подстилающую поверхность, является важнейшим источником энергии для большинства биосферных процессов и объектов, в том числе для погоды, климата и биоты. При этом наиболее коротковолновое излучение (280–400 нм) – ультрафиолетовое (УФИ) – может оказывать и отрицательное влияние на растительные и животные организмы, включая человека. Поэтому регулярные и непрерывные наблюдения за приходящим УФИ являются неотъемлемой частью как глобальной, так и региональной систем мониторинга состояния окружающей среды, осуществляемого в настоящее время с помощью наземных и спутниковых средств измерений.

С целью параметризации степени воздействия УФИ на биологические ткани используются так называемые спектры действия. Например, для человека – по степени воздействия излучения на его кожу, вызывающего её покраснение (эритему) и загар, – был принят спектр действия СІЕ (рис. 1а), предложенный в работе [1] и утверждённый международной комиссией по освещению (Commission Internationale de l'Éclairage, СІЕ). Для растительности также были предложены спектры действия, среди которых наибольшее распространение получил спектр действия Калдвелла (рис. 1б) [2–4].

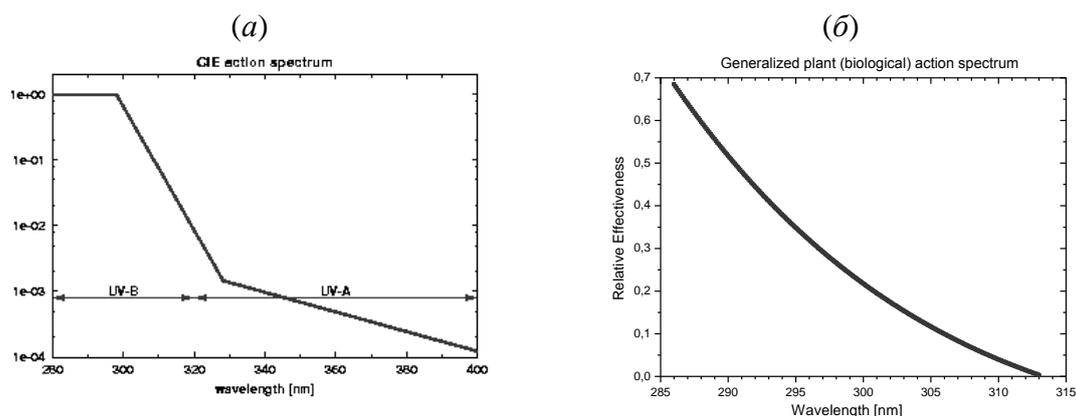


Рисунок 1. Спектры действия СІЕ (а) и Калдвелла (б), используемые в расчётах интегральной по спектру величины – пространственной энергетической экспозиции (или суммы) для эритемного и биологически активного УФИ.

В геофизической обсерватории ИМКЭС СО РАН регулярные и непрерывные наблюдения за эритемным и биологически активным УФИ, наряду с другими величинами, выполняются с 2006 г. Результаты этих наблюдений в виде суточной пространственной энергетической экспозиции (или суточной суммы), измеряемых с помощью многоканального фильтрового радиометра NILU-UV-6T [5], представлены на рис. 2. На рисунке хорошо видна как межгодовая изменчивость, так и сезонные особенности. Изменение эритемного УФИ составляет $-0,2$ кДж·м⁻²/10лет, биологически активного – $-0,08$ кДж·м⁻²/10 лет. Средние и максимальные значения суточных сумм, которые были зарегистрированы за период наблюдений, приведены в таблице.

Автор выражает искреннюю благодарность наблюдателям обсерватории, в особенности Е. Т. Чемяковой, за проведение метеорологических и радиационных измерений и первичную обработку данных.

Работа была выполнена в рамках проектов IX.135 (№ 0369-2018-0002) и IX.137 (№ 0369-2018-0012) программы ФНИ ГА на 2013–2020 гг.

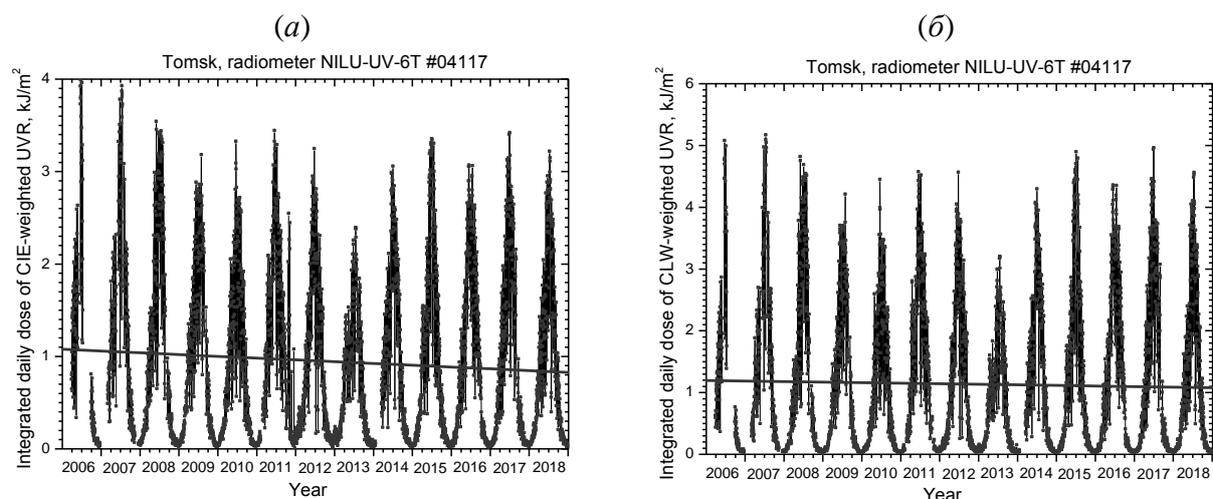


Рисунок 2. Суточные суммы эритемного (а) и биологически активного (б) УФИ по данным радиационных измерений в Томске с 2006 по 2018 г.

Таблица 1. Средние и максимальные значения суточных сумм эритемного и биологически активного УФИ в Томске за период наблюдений с 2006 по 2018 г.

Вид УФИ	Значение суточной суммы	
	среднее	максимальное
Эритемное, 280–400 нм	0,94 кДж·м ⁻²	3,99 кДж·м ⁻²
Биологически активное, 286–313 нм	1,13 кДж·м ⁻²	5,17 кДж·м ⁻²

1. McKinlay A. F., Diffey B. L. A reference action spectrum for ultraviolet induced erythema in human skin // CIE Journal. 1987. V. 6. P. 17–22.
2. Caldwell M. M. Solar UV irradiation and the growth and development of higher plants // Photo-physiology. 1971. V. 6. № 4. P. 131–177.
3. Green A. E. S., Sawada T., Shettle E. P. The middle ultraviolet reaching the ground // Photochemistry and Photobiology. 1974. V. 19. P. 251–259.
4. [Http://www.biospherical.com/nsf/login/GUV/Caldwell.txt](http://www.biospherical.com/nsf/login/GUV/Caldwell.txt).
5. Dahlback A. Measurements of biologically effective UV doses, total ozone abundance and cloud effects with multi-channel moderate bandwidth filter instruments // Appl. Opt. 1996. V. 35. P. 6514–6521.

МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ И УРОВЕННЫЙ РЕЖИМ ОЗЕРА КРАСИЛОВСКОЕ (АЛТАЙСКИЙ КРАЙ) В 2013-2017 ГГ.

Суторихин И.А.¹, Самойлова С.Ю.¹, Коломейцев А.А.¹, Кураков С.А.²

¹ Институт водных и экологических проблем СО РАН (г. Барнаул)

² Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН (г. Томск)
sia@iwep.ru

Озера являются значимыми индикаторами климатических изменений [1]. Уровенный режим бессточных озер формируется под влиянием множества факторов, определяющих поступление влаги на территорию озера и водосбора. Для решения задач комплексного мониторинга водного объекта нами использован измерительный комплекс АПИК, созданный в ИМКЭС СО РАН и установленный на территории базы учебных практик Алтайского государственного университета «Озеро Красилово» в 2013 г. В режиме реального времени с интервалом 15 минут производятся измерения интенсивности солнечной радиации, атмосферного давления, температуры и влажности воздуха, величины жидких осадков, высоты снежного покрова, температуры грунта до глубины 3,2 м, уровня воды в озере. Кроме того, сотрудниками ИВЭП СО РАН начиная с 2015 г. проводятся ежегодные снегомерные съемки по трем маршрутам-в лесу, поле и непосредственно на акватории озера. Материалы за 2013-15 гг. опубликованы ранее [2].

Бессточное пресноводное озеро Красиловское расположено на юго-востоке Западно-Сибирской равнины. Площадь водосбора и зеркала озера 46,11 и 0,8 км² соответственно, средняя глубина – 2,7 м, максимальная – 6,5 м [2].

По результатам наблюдений были проанализированы ежесуточные гидрометеорологические данные с начала октября по май, отражающие процессы снегонакопления, снеготаяния и связанного с ними весеннего притока воды в озеро за 2013-2017 гг. В качестве примера на рисунках 1 и 2 представлен ежесуточный ход температур воздуха и грунта, снежного покрова, жидких осадков и уровня воды в озере по данным АПИК в наиболее характерные годы.

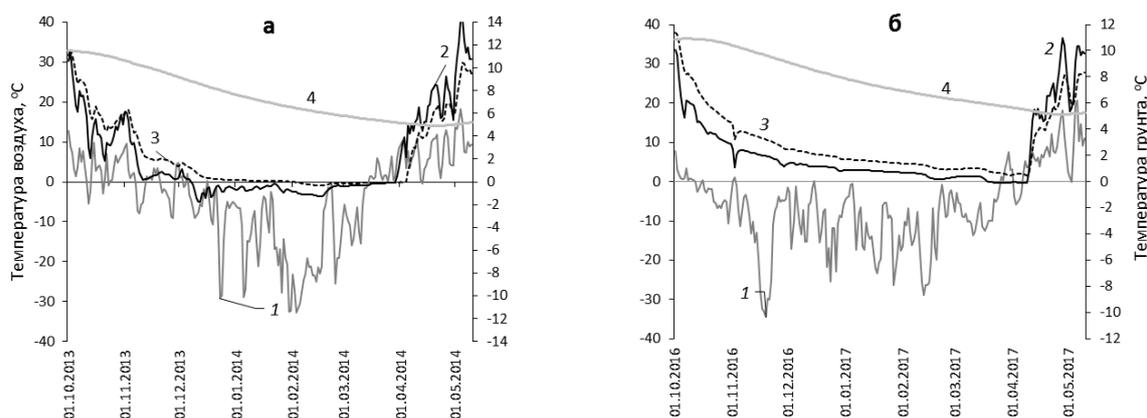


Рисунок 1. Среднесуточные температуры воздуха на высоте 2 м (1) и грунта на глубине 5 (2), 30 (3), 320 (4) см. зимой 2013-14 (а) и 2016-17 (б) гг.

Температура воздуха, осадки. По данным метеостанции Бийск-Зональная (90 км от оз. Красиловское), средние температуры и суммы осадков зимой (с ноября по март включительно) в 2013-17 гг. были близки к среднемноголетним. Сумма осадков за октябрь-ноябрь осенью 2013 и 2015 г. была на 20% ниже среднемноголетней, а в 2014 и 2016 гг. превышала ее почти вдвое.

Снежный покров. По данным снегомерных съемок, толщина снежного покрова в конце периода снегонакопления изменялась от 31 см до 122 см на полевом маршруте и от 59 до

142 см на лесном. В разные годы толщина снежного покрова и снеготаяния в лесу превышают аналогичные параметры в поле на 26-37% и 16-35% соответственно. Минимальные показатели наблюдались в 2016 г., максимальные – в 2017 г.

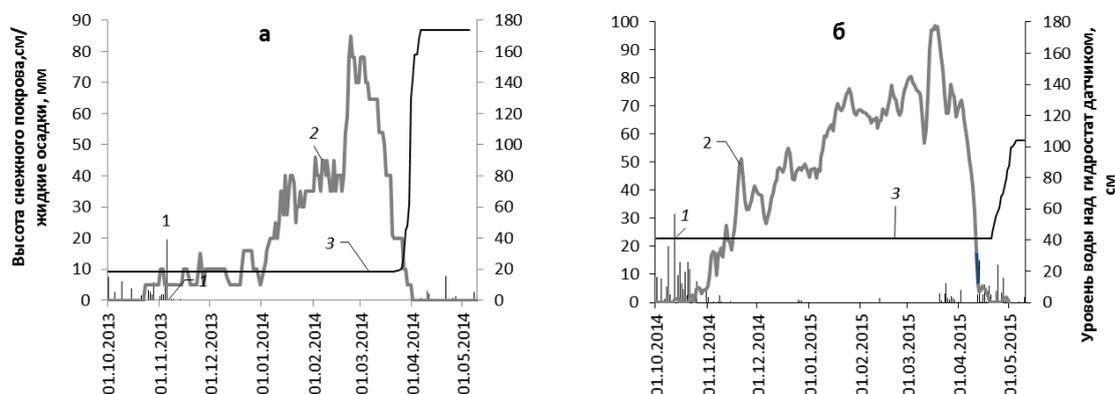


Рисунок 2. Жидкие осадки (1), высота снежного покрова (2) и жидкие осадки (3) в год с промерзанием (а) и без промерзания (б)

Температурный режим грунта. Минимальные температуры грунта зафиксированы в 2014 г. – в этот год формирование устойчивого снежного покрова произошло 22 декабря, в течение зимы наблюдались сильные и длительные заморозки, а снеготаяния были в 1,5 раза ниже среднегоголетних. Промерзание грунта достигло глубины 30 см (рис. 1, а). Зимой 2015-2016 г. также зафиксированы отрицательные температуры на глубине до 5 см. Зимой 2014-15 и 2016-17 гг. промерзания не наблюдалось. Это связано с большим количеством жидких осадков осенью, значительной высотой снежного покрова и его установлением до наступления сильных морозов (рис. 1, б).

Динамика уровня воды в озере. Максимальный подъем уровня наблюдался весной 2014 и 2016 гг. - на 1 и 1,5 м соответственно относительно зимнего. Гидрометеорологические условия в период установления снежного покрова способствовали промерзанию грунта с формированием «запирающего» мерзлого горизонта – сток талых вод происходил без существенных потерь на инфильтрацию (рис. 2, а). В годы без промерзания – 2015 и 2017 высота подъема уровня воды в озере оказалась существенно ниже – 0,6 и 0,4 м соответственно, подъем уровня озера начинался после окончания снеготаяния и происходил медленнее (рис. 2, б).

Детализация параметров, характеризующих уровеньный режим озера в период снеготаяния в годы с контрастными гидрометеорологическими условиями позволяет нам утверждать, что для озера Красиловское главным фактором, формирующим приток талых вод, являются не запасы воды, накопленные в бассейне к началу снеготаяния, а состояние подстилающей поверхности, а именно - промерзание грунтов, которое определяет их инфильтрационную способность.

1. Адаменко В.Н. Климат и Озера. – Л.: Гидрометеиздат, 1985. – 264 с.

2. Зуев В.В., Зуева Н.Е., Кураков С.А., Суторихин И.А., Харламова Н.Ф. Динамика весеннего подъема уровня бессточных озер (на примере озера Красиловское Алтайского края) // География и природные ресурсы. – 2016. – №4. – С. 126-134.

О ПОТЕПЛЕНИИ В СЕВЕРНОМ ПОЛУШАРИИ

Тартаковский В.А., Чередыко Н.Н., Максимов В.Г.

Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН (г.Томск)

trtk@list.ru, atnik3@rambler.ru

Соотношение основных факторов изменения глобального климата является предметом научных дискуссий. Существует недостаток феноменов, для которых найдена теоретическая поддержка и получены корректные обобщения. Актуально исследование трансформации в климатической системе приходящей солнечной энергии, основного источника гидрометеорологических процессов. Выявленные закономерности этой трансформации являются основой параметризации энергообмена атмосферы и подстилающей поверхности в моделях климата.

В качестве интегрального индикатора изменения глобального климата, приняты средняя глобальная и средние полушарные температуры [1, 2]. Эти показатели могут быть рассчитаны с использованием значений средних широтных температур. В докладе предложен способ диагностики изменения климата путем вычисления средних широтных температур в разные интервалы лет: 1955-1984 гг. и 1985-2014 гг. Оценивалось приращение рассчитанных показателей между двумя рассмотренными периодами.

Средняя многолетняя температура вдоль конкретного широтного круга рассчитывалась через эмпирическое преобразование инсоляции [4]. Теоретическое распределение инсоляции сопоставлялось с данными приземной температуры 927 метеорологических станций Северного полушария, для этого применялась регрессия и группировка метеостанций. Линейная трансформация инсоляции в температуру характеризуется константами, которые определялись путем минимизации отклонений реальных значений средней многолетней температуры от преобразованного теоретического распределения инсоляции по широтам. Для оценки влияния неравномерного распределения метеостанций по земной поверхности реализовано несколько вариантов минимизации среднеквадратичного отклонения, использовались натуральные данные и взвешенные величины, также рассматривались варианты разделения полушария на ячейки разных размеров. Предложенная процедура взвешивания внутри каждой ячейки сохраняет соотношения между температурами на различных метеостанциях и балансирует вклад каждой ячейки в соответствии с числом станций внутри неё.

Относительный вклад в общую изменчивость температуры величины линейно преобразованной средней инсоляции как функции широты оценивался коэффициентом детерминации R^2 . Показано, что в период 1955–2014 гг. инсоляция определяла приблизительно 85% температурной изменчивости, а атмосферные процессы около 15%. Такое соотношение сохранилось и при оценке для половинных временных периодов.

Изменение коэффициентов линейной трансформации инсоляции для различных временных периодов приводит к заметному относительному смещению полученных функций. В среднем по полушарию приращение температуры от одного периода к другому составило 0,78 °С. Полученные результаты оценки потепления соответствуют известным представлениям об изменении глобальной температуры [5]. Наибольшие расхождения кривых средних широтных температур, построенных для разных периодов (см. рис. 1), наблюдаются на широтах выше 65°с.ш., что согласуется с выводами о наибольших темпах потепления в высоких широтах [5].

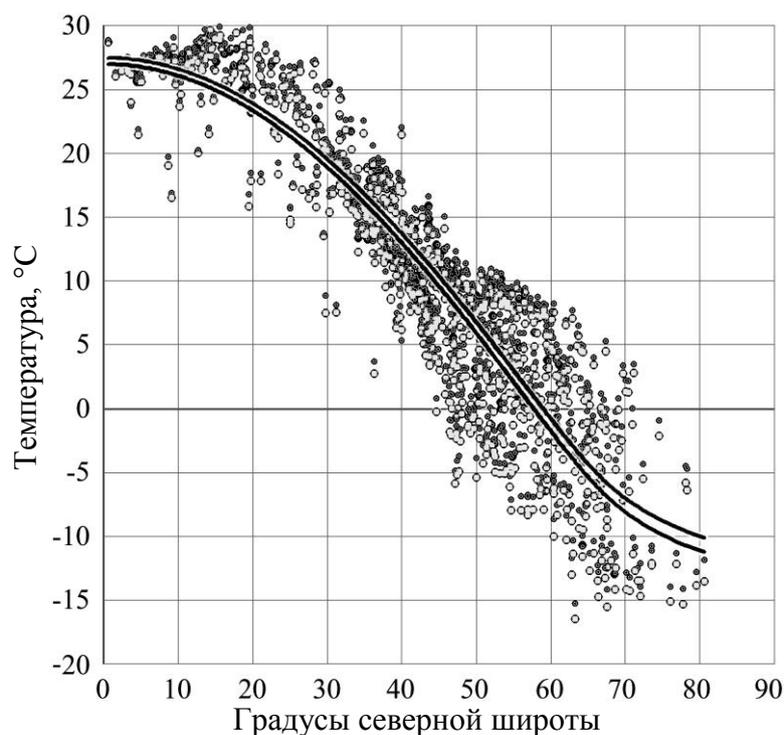


Рисунок 1. Прирост средней широтной температуры. Периоду 1985–2014 гг. соответствует верхняя линия и темные точки для средних многолетних температур, периоду 1955–1984 гг. – нижняя линия и светлые точки. Представлен вариант, когда весовая функция не использовалась.

Средние разности трансформированной инсоляции и средних многолетних температур по всем широтам близки к нулю, что подтверждает корректность оценки средней широтной температуры как результата линейной трансформации инсоляции.

1. Второй оценочный доклад Росгидромета об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. Общее резюме. М.: Росгидромет, 2014. 62 с.
2. Груза Г.В., Ранькова Э.Я. Наблюдаемые и ожидаемые изменения климата России: температура воздуха. Обнинск: ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД», 2012. 194 с.
3. Архив Университета Восточной Англии [Электронный ресурс]. URL: <http://www.metoffice.gov.uk>, <http://www.cru.uea.ac.uk> (дата обращения 01.06.17).
4. Солнечная радиация и климат Земли [Электронный ресурс]. URL: <http://www.solar-climate.com/sc/bd01.htm> (дата обращения 01.12.18)
5. Изменения климата, 2013 г.: Физическая научная основа. Вклад Рабочей группы I в Пятый оценочный доклад Межправительственной группы экспертов по изменению климата / Стокер Т.Ф., Цинь Д., Платтнер и др. Кембридж юниверсити пресс, Кембридж, Соединенное Королевство и Нью-Йорк, США. 2013. 222 с.

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ИНСОЛЯЦИИ И СРЕДНЯЯ ПОЛУШАРНАЯ ТЕМПЕРАТУРА

Тартаковский В.А., Чередыко Н.Н., Максимов В.Г.

Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН (г. Томск)

trtk@list.ru, atnik3@rambler.ru

Основой оценок изменения глобального климата приняты средняя глобальная и средние полушарные температуры [1, 2], как интегральный индикатор отклика климатической системы на весь спектр климаторегулирующих факторов. Известные методы [3-8], используемые для расчетов средних глобальной, полушарных температур, не обеспечивают единственность решения, имеют ряд допущений, дают сходные, но неидентичные результаты. Это связано с различиями в оценках степени влияния на значение средних температурных аномалий в зонах отсутствия метеостанций, а также их неравномерного распределения. Кроме того, высока неопределенность, связанная с полнотой и методикой учета данных температуры над водной поверхностью морей и океанов.

Солнечная энергия является основным источником всех процессов в климатической системе. Географическое распределение потоков приходящего солнечного излучения является фундаментальной основой формирования климата. Широта места, особенности подстилающей поверхности, специфика обратных связей вносят существенные региональные различия в это взаимодействие, результирующей которого можно принять приземную температуру воздуха. Эта феноменология может быть взята за основу при расчетах глобальных и полушарных характеристик температурного поля через расчет средних широтных температур, которые, в свою очередь, рассчитываются через известные значения инсоляции.

В докладе показано, что среднегодовая инсоляция как функция широты, подвергнутая линейному преобразованию, есть среднее значение всех средних многолетних температур на метеостанциях соответствующей широтной зоны для рассматриваемого периода. Обоснование этой оценки осуществляется сопоставлением теоретического распределения инсоляции с измеренной температурой, для этого применяется регрессия и группировка метеостанций (рис. 1).

Для расчетов использованы данные среднемесячной температуры за 1955-2014 гг. с 927 метеорологических станций Северного полушария [7]. Средние значения инсоляции для тропического года предоставлены в базе данных на сайте [9]. Расчет проводился по методу, описанному в [10], использовались уточненные значения расстояния от Земли до Солнца, склонения и эклиптической долготы Солнца, взятые из модели NASA DE-406 [11].

Найденная аналитическая взаимосвязь инсоляции и средней широтной температуры имманентна климатической системе. Средние разности трансформированной инсоляции и средних многолетних температур по всем широтам близки к нулю, что подтверждает возможность оценивать среднюю широтную температуру путем линейной трансформации инсоляции.

Предложенные оценки средней широтной температуры позволяют определять и уточнять ее в любой зоне, на любой широте по мере получения дополнительных данных наблюдений.

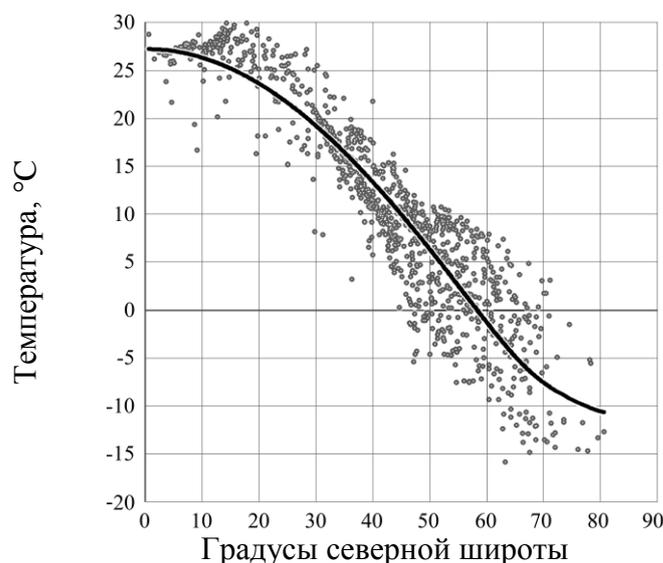


Рисунок 1. Распределение по широте средней многолетней температуры в Северном полушарии за период 1955-2014 гг. по данным 927 метеостанций (обозначено точками). Оценка средней широтной температуры, полученная путем преобразования инсоляции, показана черной сплошной линией. Весовая функция не использовалась

1. Второй оценочный доклад Росгидромета об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. Общее резюме. – М.: Росгидромет, 2014. 62 с.
2. Груза Г.В., Ранькова Э.Я. Наблюдаемые и ожидаемые изменения климата России: температура воздуха. – Обнинск: ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД», 2012. 194 с.
3. GISS Surface Temperature Analysis [Электронный ресурс] URL: <http://data.giss.nasa.gov/gistemp/> (дата обращения 01.12.18).
4. Hansen J., Ruedy R., Sato M. and Lo K. Global surface temperature change // *Rev. Geophys.* 2010. V. 48. RG4004, doi:10.1029/2010RG000345.
5. Global Average Anomalies [Электронный ресурс] URL: <http://www.ncdc.noaa.gov/oa/climate/research/anomalies/index.htm> (дата обращения 01.12.18).
6. Smith T.M., Reynolds R., Peterson T.C. and Lawrimore J. Improvements to NOAA's historical merged land–ocean surface temperature analysis (1880–2006) // *J. Clim.* 2008. V. 21. P. 2283-2296, doi:10.1175/2007JCLI2100.1.
7. Архив Университета Восточной Англии [Электронный ресурс]. URL: <http://www.metoffice.gov.uk>, <http://www.cru.uea.ac.uk> (дата обращения 01.06.17).
8. Jones P.D., Lister D.H., Osborn T.J., Harpham C., Salmon M., Morice C.P. Hemispheric and large-scale land-surface air temperature variations: An extensive revision and an update to 2010 // *J. of Geophys. Res.* 2012. V. 117. Iss. D5. D05127. doi:10.1029/2011JD017139.
9. Солнечная радиация и климат Земли [Электронный ресурс]. URL: <http://www.solar-climate.com/sc/bd01.htm> (дата обращения 01.12.18).
10. Федоров В.М. Инсоляция Земли и современные изменения климата. – М.: Физматлит, 2018. 232 с.
11. The JPL HORIZONS on-line solar system data and ephemeris computation service provides access to key solar system data and flexible production of highly accurate ephemerides for solar system objects [Электронный ресурс]. URL: <http://ssd.jpl.nasa.gov> (дата обращения 01.12.18).

ЗАГРЯЗНЕНИЕ СНЕЖНОГО ПОКРОВА ПРИ СУХОМ ОСАЖДЕНИИ ПАУ В ПРОЦЕССАХ ИНЕЕОБРАЗОВАНИЯ

Тентюков М.П.¹, Симоненков Д.В.², Габов Д.Н.³, Язиков Е.Г.⁴

¹ Сыктывкарский государственный университет им. Питирима Сорокина

² Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН (г.Томск)

³ Институт биологии Коми НЦ УрО РАН (г. Сыктывкар)

⁴ Томский политехнический университет (г. Томск)

tentukov@yandex.ru, simon@iao.ru, yazikoveg@tpu.ru

Главным техногенным источником ПАУ в атмосфере является сжигание ископаемого топлива. Анализ состава органических соединений в воздухе посвящено много работ, но нет устоявшихся ответов на вопросы о механизмах их образования. Одновременное нахождение в атмосфере большого количества органических и минеральных соединений сильно затрудняет понимание атмосферных физико-химических процессов. Наряду с этим остается актуальным интерес к исследованиям по изучению механизма выведения органических веществ из атмосферы [1]. Отмечается, что при снегопадах осаждение органического вещества идет активней, чем при выпадении дождевых осадков; благодаря высокой удельной поверхности кристаллы атмосферного льда могут сорбировать органические соединения. При этом для некоторых, например, неполярных органических веществ, снегопады являются основным механизмом выведения их из атмосферы. Наряду с этим замечена высокая вариабельность содержания органического вещества в снежной толще в перерывах между снегопадами, которую объясняют уплотнением снега [2]. Однако наблюдения за динамикой изменчивости сульфатного загрязнения поверхности снега [3] позволяют предположить, что в перерывах между снегопадами выпадение ПАУ из приземного воздуха может происходить при осаждении инея. Поэтому цель работы – оценить роль инея в осаждении ПАУ из приземного воздуха и выявить особенности углеводородного загрязнения поверхности снега при инееобразовании в перерывах между снегопадами.

В основу исследования положены данные наблюдений за выпадением инея с 13.01 по 21.02.2012 г. на снегомерной площадке Радиобиологического корпуса Института биологии Коми НЦ УрО РАН «РБК», расположенной в пределах зеленой зоны в 4-х км к западу от г. Сыктывкар на опытном поле и в 28-35% случаев ветров подверженной прямому аэротехногенному воздействию работающей на топочном мазуте котельной, либо жилого поселка городского типа со смешанным типом отопления. Наблюдения за выпадением инея включали визуальную регистрацию признаков инееобразования на поверхности снега и фиксирование прироста снежной толщи при инееобразовании между снегопадами с использованием инемерной рейки и пластины-уровнемера по способу [4]. Наблюдения за инееобразованием проводились параллельно со снегомерными наблюдениями: ежедневное измерение высоты снежного покрова и еженедельное послойное опробование снежной толщи. Последнее проводилось для выявления динамики послойной изменчивости плотности снега при нарастании снежного покрова. В период с 24.01 по 21.02 колебания прироста снежного покрова составляли 5-10 мм, что «укладывалось» в величину отбираемого верхнего слоя снега с поверхностным инеем (18 мм). Поэтому изменчивость содержания ПАУ в пробах снеговой воды отражают динамику сухого осаждения ПАУ при инееобразовании. По данным журнала наблюдений выпадение инея фиксировались в утренние часы, как правило, при слабом ветре и при относительной влажности 70-80 %. Количественный и качественный анализ состава ПАУ в верхнем слое снега с поверхностным инеем показал, что в пробах снеговой воды, полученной из верхнего слоя снега с поверхностным инеем, преобладают преимущественно низкомолекулярные полиарены: нафталин (30–80% от суммы ПАУ), флуорен, фенантрен, флуорантен, пирен (3–30 %), а также хризен и бенз[b]флуорантен (1.5-3 %). Тяжелые 5-6 ядерные ПАУ входят в отдельную группу соединений, характеризующихся концентрациями в следовых количествах ($1.5 < n < 1.5\%$). Это аценафтен, антрацен, бенз[a]антрацен,

бенз[к]флуорантен, бенз[а]пирен, дибенз[а,h]антрацен, бенз[ghi]перилен. Все идентифицированные в снеговой воде низкомолекулярные полиарены мало растворимы, что дает основание полагать – в перераспределении ПАУ между дисперсными фракциями в сухих выпадениях путем укрупнения частиц, значительную роль играет адгезия. В случае прилипания частицы к поверхности связь осуществляется между двумя поверхностями. Такое взаимодействие обусловлено наличием удельной свободной поверхностной энергии. Ее величина для частицы будет определяться площадью контакта с поверхностью твердого тела. Снежный покров, вбирая в себя из приземного слоя воздуха избыток влаги, инициирует нисходящую миграцию воздуха. В результате формируется устойчивый массоперенос водяных паров по направлению к снежному покрову и, возможно, тонкодисперсных кристаллов ПАУ. Они, обладая высокой удельной активностью поверхности, могут адсорбироваться на поверхности снега за счет действия капиллярных сил конденсирующейся жидкости. Чтобы аэрозольные частицы ПАУ из турбулентного потока адсорбировались на поверхность снега, необходимо, чтобы температура воздуха в потоке была выше температуры снежной поверхности. Такие благоприятные для образования инея условия, как правило, часто возникают в утренние часы. Наблюдения за динамикой изменчивости микроморфологии кристаллов инея в течение дня подтверждают это. Следовательно, на поверхности ледяных кристаллов инея и снежных зерен возможна адсорбция ПАУ из приземного слоя воздуха. А в качестве носителей могут выступать субмикронные кристаллы атмосферного льда.

Таким образом, кристаллы атмосферного льда играют определенную роль при выведении из атмосферы субмикронных кристаллов ПАУ путем их сухого осаждения в период между снегопадами при инеобразованием. Свежевыпавшие кристаллы атмосферного льда-инея на поверхности снежного покрова претерпевают перекристаллизацию, сопровождающуюся ростом новых (вторичных) кристаллов инея. При этом углеводородное загрязнение кристаллов атмосферного льда и вторичного инея возникает в результате адгезионного взаимодействия частиц ПАУ с поверхностью ледяных кристаллов. При этом устойчивость сигнала аэрогенной углеводородной аномалии обеспечивается удержанием частиц ПАУ на поверхности ледяных кристаллов за счет действия капиллярных сил конденсирующейся жидкости.

В теоретической части исследование поддержано грантом РФФИ № 18-45-700020.

1. Lei Y. D., Wania F. Is rain or snow a more efficient scavenger of organic chemicals? // *Atmospheric Environment*. 2004. V. 38, N 22. P. 3557-3571.
2. Herbert et al. Polychlorinated naphthalenes in air and snow in the Norwegian Arctic: a local source or an Eastern Arctic phenomenon? // *Science of the Total Environment*. 2005. V. 342. N 1-3. P. 145-160.
3. Тентюков М.П. Морозное конденсирование диоксида серы и загрязнение поверхности снега // *Метеорология и гидрология*. 2011. № 12. С. 29-35.
4. Тентюков М.П. Способ измерения нарастающих отложений сублимационного льда-инея на поверхности снежного покрова. Патент 2554303 (RU). Бюлл. N 18 (2015).

ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ПРИКЛАДНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ АТМОСФЕРНЫХ ОСАДКОВ НА ТЕРРИТОРИИ ТОМСКОЙ ОБЛАСТИ

Титовская А.А., Волкова М.А.

Томский государственный университет (г. Томск)
nastushecka-titov@mail.ru, mv2101@mail.ru

Атмосферные осадки являются одной из важнейших климатических характеристик, они характеризуются фазовым состоянием, количеством и числом дней, их колебания отражаются на всем режиме увлажнения [1]. Нет сферы экономико-хозяйственной жизни человека, на которые осадки прямо или косвенно не оказывали бы влияния. В транспортной отрасли показатели атмосферных осадков используются для различных целей, в том числе, для проектирования системы автомобильных дорог (повторяемость различного количества осадков, начиная с градации более 5 мм в сутки с апреля по октябрь, интенсивность осадков заданной обеспеченности), для обеспечения сохранности дорог (средняя и максимальная интенсивность осадков за 30 минут, суточный максимум осадков), для дорожного строительства и производства дорожных работ (повторяемость числа дней с осадками более 5 мм в сутки за период с апреля по октябрь), для безопасной и бесперебойной эксплуатации железных дорог и организации движения на дорогах (климатический прогноз осадков на периоды от месяца до нескольких лет, вероятность дождя интенсивностью 0,5 мм/час) [2]. В связи с этим целью данной работы является уточнение некоторых количественных показателей режима атмосферных осадков для обеспечения транспортной отрасли на территории Томской области.

Информационной базой послужили данные атмосферных осадков (ВНИИГМИ-МЦД) суточного и срочного разрешения на 10 метеорологических станциях области за период 1961–2017 гг. Были рассчитаны следующие климатические характеристики: среднее многолетнее количество осадков (за год, месяцы, теплый (апрель-октябрь) и холодный (ноябрь-март) периоды); максимальное количество осадков за сутки; число дней с осадками по градациям ($\geq 5,0$, $\geq 10,0$, $\geq 20,0$ и $\geq 30,0$ мм); число дней с осадками ≥ 35 мм/12 час (сильный дождь) и ≥ 50 мм/12 час (очень сильный дождь).

Диапазон пространственного изменения годовых сумм осадков на территории области, согласно табл.1, составляет 453 мм (Первомайское) – 591 мм (Ванжиль-Кынак). Повышенное годовое количество осадков характерно для северной части территории, где составляет 570–590 мм. Во внутригодовом ходе максимальные суммы наблюдаются в теплый период года (в 1,5-2 раза больше по сравнению с холодным периодом) с наибольшим количеством в июле-августе, что обусловлено влиянием активной циклонической деятельности и вкладом внутримассовых осадков на фоне летних конвективных процессов. Наименьшие суммы осадков выпадают в феврале-марте, что определяется влиянием Сибирского антициклона. Сравнение данных за разные периоды 1961-2017, 1961-1990, 1976-1997, 1998-2017 и 2008-2017 гг. показало, что по сравнению с периодом климатической нормы (1961-1990 гг.), суммы осадков увеличились (с максимумом до 15% на станциях Колпашево и Пудино), особенно в последние 10 и 20 лет (после 1997 года).

Многолетние суточные экстремумы осадков показали, что абсолютный максимум лежит в диапазоне от 56,1 мм (Средний Васюган) до 93,3 мм (Пудино) и был зафиксирован в июле или августе на разных станциях. При этом, следует отметить, что абсолютные суточные максимумы осадков на большинстве станций (70%) зарегистрированы в период с 1994 года по 2017, т.е. в период наиболее выраженного глобального потепления.

Таблица 1. Суммы осадков (мм) за период 1961-2017 гг.

Станция	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Теп- лый период	холод- ный период	год
Александровское	20,9	17,3	18,3	27,2	46,2	71,2	61,9	78,8	54,2	42,9	36,5	27,6	339,4	163,6	503,0
Ванжиль-Кынак	31,2	23,9	25,9	31,6	48,1	68,0	77,4	77,4	62,0	56,8	50,5	39,1	364,6	227,4	591,4
Напас	28,9	21,4	23,8	31,9	54,9	64,8	75,5	80,2	57,0	54,7	49,0	37,2	364,2	214,9	579,0
Ср.Васюган	26,8	19,3	21,5	30,4	51,8	65,3	71,4	79,8	53,1	46,5	41,9	33,9	351,7	190,0	541,7
Усть-Озерное	27,4	22,6	21,9	27,5	50,8	53,7	63,4	69,0	53,4	51,8	46,1	38,2	317,8	207,9	525,8
Колпашево	24,1	17,4	19,0	26,0	50,5	59,6	71,8	77,3	50,6	45,0	39,3	32,6	335,8	177,3	513,1
Пудино	23,4	16,4	18,0	24,4	47,8	66,4	72,9	74,1	47,5	41,4	35,5	29,6	333,2	164,2	497,4
Бакчар	21,1	14,8	16,9	25,3	45,0	60,9	69,8	68,6	44,8	41,8	34,9	28,2	314,3	157,6	472,0
Первомайское	20,7	15,1	16,9	23,9	42,0	54,0	64,1	66,2	44,9	38,8	37,2	28,9	295,1	157,5	452,6
Томск	33,6	23,1	25,7	30,7	46,4	58,6	71,5	70,4	47,0	52,6	52,6	45,3	324,6	232,8	557,4

Далее было рассчитано среднее многолетнее число дней с суточным количеством осадков ≥ 5 мм, ≥ 10 мм, ≥ 20 мм и ≥ 30 мм. Данные характеристики используются при выборе дорожного покрытия, для определения периода производства основных дорожных работ, при проектировании снегозаносимой насыпи. Число дней с осадками ≥ 5 мм распределено достаточно равномерно по территории и составляет от 25 дней (Бакчар и Первомайское) до 33-34 дней (Ванжиль-Кынак и Томск). Оценка временной динамики числа дней с осадками ≥ 5 мм показала незначительный рост со скоростью 1–1,5 дня/10 лет. Число дней с суточным количеством осадков ≥ 10 мм составляет 8-11 дней, при этом в межгодовой динамике изменчивость отмечается существенно выше по сравнению с осадками ≥ 5 мм. Число дней с суточным количеством ≥ 20 мм составляет 1,6–2,4 дня, с суточным количеством ≥ 30 мм – наблюдается не каждый год (0,4–0,9 дня), при этом повышенное число дней характерно для северной части Томской области.

Расчеты повторяемости опасных явлений, связанных с осадками показали, что «сильный дождь» и «очень сильный дождь» на территории области наблюдаются крайне редко и были зафиксированы в отдельные годы в период с мая по август. Среднее многолетнее число случаев с сильным дождем ≥ 35 мм/12 часов за весь период исследования составило от 0,1 дня (Первомайское, Колпашево, Александровское) до 0,3 дня (Пудино, Напас), число случаев с очень сильным дождем ≥ 50 мм/12 часов – 0,1 дня. При анализе повторяемости сильных осадков на станциях Томской области в различные временные интервалы обнаружено, что в период максимальных скоростей глобального потепления (1976-1997 гг.) наблюдается также и максимальное число повторяемости опасных явлений практически на всех станциях Томской области.

Таким образом, тенденции повышения температуры воздуха и осадков на территории Томской области сопровождаются и ростом повторяемости опасных явлений, обусловленных осадками, что необходимо учитывать в работе транспортной отрасли региона.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант 18-45-700010 p_a).

1. Волкова М.А., Чередыко Н.Н., Кусков А.И. Пространственно-временная структура атмосферных осадков в Западной Сибири // Вестник Томского гос. ун-та. 2009. № 328. С. 214-219.

2. Руководство по специализированному климатологическому обслуживанию экономики / Под ред. Н. В. Кобышевой. СПб.: «АСТЕРИОН», 2008. 334 с.

ПРОСТРАНСТВЕННЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ АНОМАЛЬНО ХОЛОДНЫХ И АНОМАЛЬНО ТЕПЛЫХ ЗИМ НАД АЗИАТСКОЙ РОССИЕЙ

Труханов А.Э., Кочугова Е.А.

Иркутский государственный университет (г. Иркутск)

antontr.meteo.97@gmail.com, kochugovae@mail.ru

Азиатская территория России (АТР) – регион, в котором глобальные изменения климата проявляются наиболее ярко. Обобщенная оценка научных работ, выполненных на примере АТР, показала увеличение межсезонных различий трендов температуры воздуха. Другой особенностью изменений температурного режима в этом регионе является, наблюдаемая зимой в течение нескольких лет тенденция к похолоданию (до $-0,6^{\circ}\text{C}/10$ лет). Однако не все исследователи согласны с таким утверждением. В [1, 2] на основе оценок региональных климатических тенденций приземной температуры воздуха в странах Азиатско-Тихоокеанского региона, наоборот, было выявлено статистически значимое потепление во многих районах Северо-Восточной Азии, в том числе Восточной Сибири и на Дальнем Востоке. В связи с этим оценка состояния и изменчивости современного климата АТР на примере температуры воздуха вызывает очевидный интерес.

В данной работе проанализирована динамика зимних температур на примере 92 метеорологических станций, включенных в перечень климатических станций Росгидромета, и, расположенных на АТР. Исходным материалом для исследования послужили среднесуточные значения температуры воздуха зимних месяцев за временной интервал 1947–2016 гг. Выбор данного периода обусловлен сменой фазы изменения температурного режима и возможностью учесть, как период похолодания, так и период потепления.

Для оценки состояния и изменений современного климата АТР на примере температуры воздуха были построены карты изотерм для всех месяцев зимнего сезона, составлены каталоги с исключительно теплыми и исключительно холодными зимами, построены карты распределения суммы числа случаев с положительными и отрицательными аномалиями температуры воздуха (отклонения 2σ и -2σ соответственно) за два периода (1947–1981 гг. и 1982–2016 гг.)

В рамках исследования было изучено изменение частоты экстремальных температур воздуха. В качестве критерия экстремальности зим была выбрана величина среднеквадратического отклонения (σ). В статье (рис. 1, рис. 2) приведено пространственное распределение суммарного числа случаев с положительными и отрицательными аномалиями температуры воздуха для центрального месяца зимнего сезона.

Сравнительный анализ аномалий температуры воздуха в январе показал, что в период до 1981 г. наиболее часто аномалии холода наблюдались на территории Якутии (более 260 случаев за весь период) и Хабаровского края (до 230 случаев). Во второй период (1982–2016 гг.) количество отрицательных аномалий в целом на исследуемой территории сократилось. Очаг с наибольшим числом аномалий холода сместился на территорию Магаданской области и север Камчатки.

Существенно изменилось пространственное распределение положительных аномалий. В целом площадь с положительными аномалиями, начиная с 1982 г., значительно увеличилась. В первый исследуемый период аномалии тепла часто (до 270 случаев за 34 года) наблюдались в Магаданской области, Камчатке, на юге Якутии. Значительно реже они наблюдались на территории Забайкальского края, Амурской области и центральных районах Якутии. Во второй исследуемый период количество случаев с положительными аномалиями возросло в 1,2–1,4 раза на западе АТР.

В целом, общее потепление на Азиатской территории России обусловлено уменьшением числа дней с аномалиями холода.

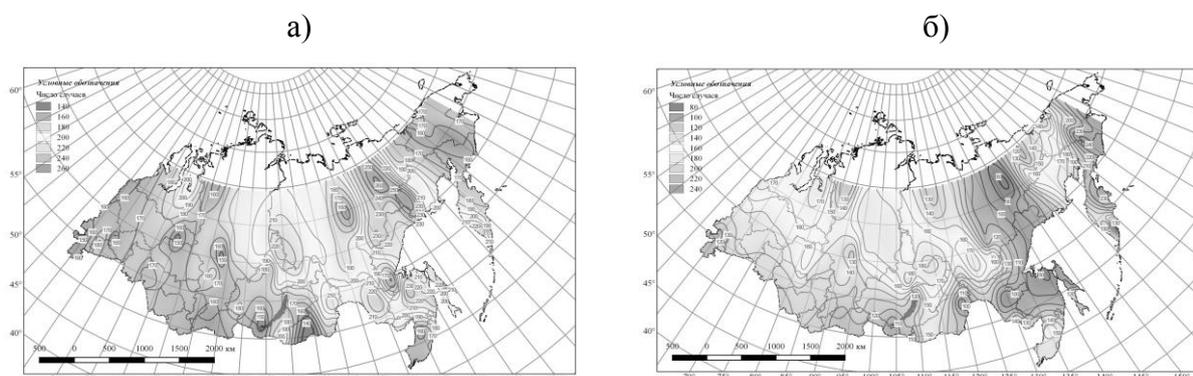


Рисунок 1. Пространственное распределение суммарного числа случаев с отрицательными аномалиями. а) 1947-1981 гг., б) 1982-2016 гг.

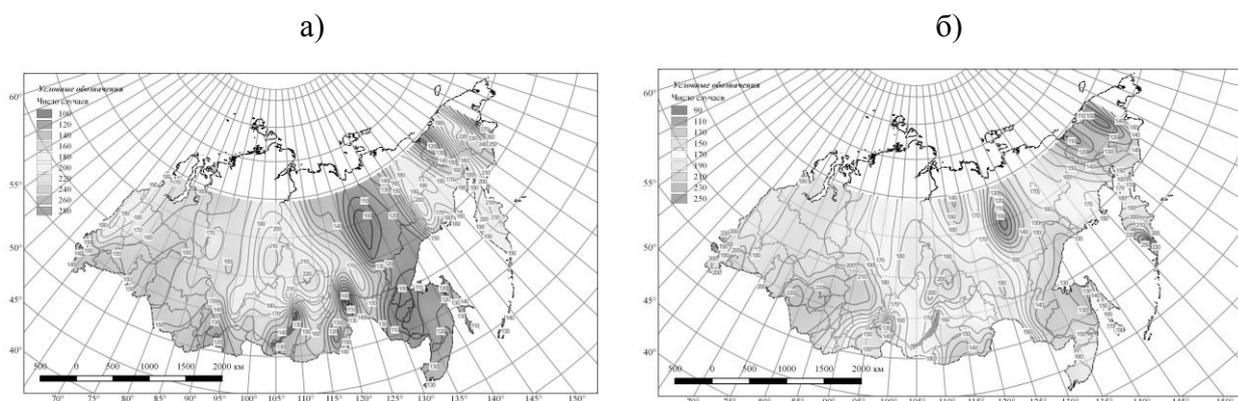


Рисунок 2. Пространственное распределение суммарного числа случаев с положительными аномалиями. а) 1947-1981 гг., б) 1982-2016 гг.

Составленные каталоги аномально теплых (3σ) и холодных (-3σ) зим позволили выделить для Азиатской территории России исключительно суровые периоды, а именно 1947, 1951, 1954, 1964, 1969 и 2001 гг., а исключительно теплыми выдались 1963, 1965, 1969, 1991, 1999, 2011 годы.

Рассчитанные коэффициенты пространственной корреляции показали, что на формирование аномалий температуры влияют мезомасштабные процессы. Наиболее тесная связь (коэффициент корреляции больше или равен 0,9) наблюдается, если расстояние между станциями не превышает 250 км. При увеличении этого расстояния в два раза коэффициент корреляции уменьшается до 0,7.

1. Платонова В. А. Оценка и прогноз современного климатического режима холодного полугодия юга Сибири и Дальнего Востока: автореф. дис. ... канд. геогр. наук: 25.00.30 / В. А. Платонова; Дальневост. гос. ун-т. – Владивосток, 2006. – 20 с.

2. Пономарев В. И. Тенденции изменений климата во второй половине XX века в Северо-Восточной Азии, на Аляске и северо-западе Тихого океана / В. И. Пономарев, Д. Д. Каплуненко, В. В. Крохин // Метеорология и гидрология, 2005. № 2. – С. 15-25.

ЭНЕРГИЯ ФАЗОВЫХ ПЕРЕХОДОВ ВОДЫ КАК ФАКТОР ЦИКЛОГЕНЕЗА НАД ЗАПАДНОЙ СИБИРЬЮ

Тунаев Е.Л.^{1,2}, Горбатенко В.П.¹

¹ Томский государственный университет (г. Томск)

² Западно-Сибирское управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (г. Новосибирск)

meteo@ggf.tsu.ru, sinoptik@meteo-nso.ru

Западная Сибирь является одним из районов с повышенной циклонической активностью, при этом процессы генерации циклонов чаще всего отмечаются в междуречье Оби и Иртыша, значительная часть которого заболочена. Здесь, в том числе, располагается Большое Васюганское болото. За год над данной территорией в среднем формируется около 25 мезовихрей, что составляет, примерно 20% [1; 2] от всех циклонов, определяющих погоду этого региона. Появление таких циклонов не всегда могут предсказать имеющиеся в оперативной практике модели погоды, что в значительной степени сказывается на качестве прогностического материала и степени успешности прогнозов погоды, особенно, осадков [5].

Целью данной работы является анализ запасов энергии фазовых переходов воды, как одного из факторов формирования циклонов на юго-востоке Западной Сибири за период 2008–2018 гг.

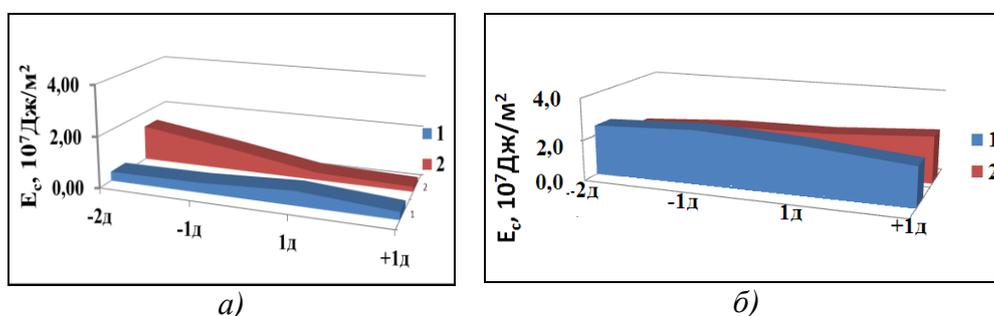
Для изучения была рассмотрена синоптическая обстановка (по данным кольцевых карт погоды, а также карт барической топографии). Анализировались частота выхода местных циклонов, продолжительность их существования, интенсивность, рассчитывались запасы энергии фазовых переходов воды в течение «жизни» циклона, а также за два дня до его образования и в день полного заполнения. Всего было изучено 250 случаев образования местных циклонов.

В результате работы получено:

1) Энергию фазовых переходов воды можно рассматривать в качестве одного из основных факторов, определяющих процессы циклогенеза над Западной Сибирью в теплый период года.

2) Наибольшие запасы энергии ($2,1–2,6 \times 10^7$ Дж/м²) отмечаются у циклонов, образующихся над болотистыми районами севера и центра территории, на стадии появления волны на основном фронте и оформления молодого циклона.

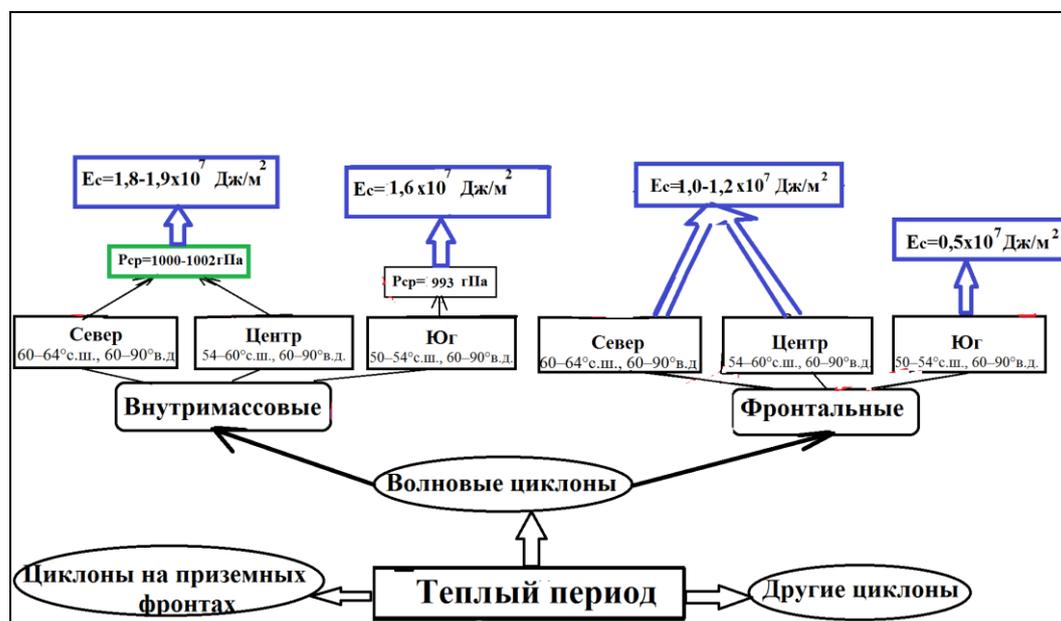
3) До 40 % всех мезовихрей [3; 4; 6] образуется непосредственно над Васюганьем (рисунок 1), где наблюдается активный циклогенез, как на линии фронтальных разделов, так и внутримассовый. Физической причиной могут служить дополнительные эманации влаги, участвующей в процессе циклогенеза, а также орографические особенности территории.



1 – Территория Большого Васюганского болота; 2 – другие районы

Рисунок 1. Значения энергии фазовых переходов воды (E_c) при циклогенезе: а) холодный период; б) теплый период.

4) Генерация и регенерация циклонов инициируется (рисунок 2) при достижении в тропосфере значений энергии фазовых переходов воды около и выше $1,0 \times 10^7$ Дж/м², только на юге территории мезовихри фронтального характера могут образовываться при меньших значениях энергии (около и выше $0,5 \times 10^7$ Дж/м²).



E_c – энергия фазовых переходов воды

Рисунок 2. Блок-схема прогностических признаков активизации циклогенеза

1. Горбатенко В.П., Ипполитов И.И., Логинов С.В., Поднебесных Н.В. Исследование циклонической и антициклонической активности на территории Западной Сибири по данным реанализа NCEP/DOE AMIP-II и синоптических карт // Оптика атмосферы и океана. 2009. № 1. С. 38–41.
2. Горбатенко В.П., Ипполитов И.И., Поднебесных Н.В. Атмосферная циркуляция над Западной Сибирью в 1976-2004 гг. // Метеорология и гидрология. 2007. Т. 32, № 5. С. 301–306.
3. Тунаев Е.Л., Горбатенко В.П., Поднебесных Н.В. Особенности циклогенеза над территорией Западной Сибири за период 1976–2015 гг. // Груды ГМЦ России. 2017. Вып. 364. С. 81–92.
4. Тунаев Е.Л., Горбатенко В.П. Энергетические характеристики атмосферы при циклогенезе над районами Васюганского Болота. // Груды ГМЦ России. 2018. Вып. 370. С. 48–62.
5. Тунаев Е.Л., Торубарова Г.П. Оправдываемость методов прогноза осадков, применяемых в оперативной практике ФГБУ «Западно-Сибирское Управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды» // Избранные труды «Международная конференция и школа молодых ученых по изменению, моделированию и информационным системам для изучения окружающей среды Enviromis 2016». – Томск: Изд-во Томского ЦНТИ. 2016. С. 132–136.
6. Tunaev E. L., Gorbatenko V. P., Kuzhevskaya I. V. Energy of atmospheric processes in a region between the Ob and Irtysh rivers in days of cyclogenesis. // IOP Conf. Series «Earth and Environmental Science» 211 (2018) 012014. 2018. pp. 1–9.

ИЗМЕНЧИВОСТЬ АДВЕКТИВНЫХ И ВИХРЕВЫХ ПОТОКОВ ТЕПЛА В ЭНЕРГОАКТИВНЫХ ЗОНАХ ОКЕАНОВ СЕВЕРНОГО ПОЛУШАРИЯ С 1979 ПО 2018 ГГ.

Усова Е.И., Логинов С.В.

Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН (г. Томск)
janey@sibmail.com

Повышение глобальной температуры, которое на протяжении последних 100 лет подтверждается как инструментальными наблюдениями, так и результатами модельных расчётов, привело к изменению атмосферной циркуляции. При этом роль адвекции в изменении температуры и влажности воздуха возросла в последние годы [1]. Кроме того, происходят изменения в активности подвижных вихрей, осуществляющих межширотный тепло- и массообмен.

Цель работы - оценить временную изменчивость адвективных и вихревых потоков тепла в океанах Северного полушария в конце XX и начале XXI веков, и выявить преобладающее направление переноса тепла в выделенных районах.

Исследование потоков тепла проводилось, согласно [1] (адвективные потоки) и [2] (вихревые), по среднесрочным данным реанализа ERA-Interim с пространственным разрешением $1,125^\circ \times 1,125^\circ$ по широте и долготе в слое 1000–850 гПа за интервал 1979-2018 гг. Была получена временная изменчивость потоков тепла для районов в океанах Северного полушария, в целом, и отдельно для каждой границы (северная, южная, западная, восточная). Это позволило выявить преобладающее направление переноса тепла на территорию в каждый сезон года.

Районы в Тихом и Атлантическом океанах определялись по результатам анализа собственных векторов (EOF), рассчитанных по ковариационным матрицам турбулентных потоков скрытого и явного тепла. В обоих океанах были выбраны районы субполярных и субтропических круговоротов, а также районы океанических течений Гольфстрим и Куроисио. В Северном Ледовитом океане (СЛО) - акватории шельфовых морей: Баренцево, Карское, Восточно-Сибирское моря и море Лаптевых.

Максимальный теплоперенос в океанах Северного полушария наблюдается в зимний сезон, а минимальный – в летний, что обусловлено наиболее интенсивным теплообменом между океаном и атмосферой зимой в Северном полушарии.

Сравнение периодов 1979–1998 гг. и 1999–2018 гг. показало, что значимый рост величины суммарного адвективного переноса ($\alpha=0,05$) в начале XXI века, по сравнению с концом XX века, отмечается в течении всего года в Баренцевом и Карском морях (на 12%), а также в субтропических круговоротах Тихого (на 11 %) и Атлантического (на 6%) океанов. В средних и высоких широтах, наоборот, во второй период величина потоков уменьшилась (на 8%). Исключение составляет субполярный круговорот Тихого океана, где зимой перенос выше (на 10%) в начале XXI века, а летом ниже (на 12%).

Для более детального рассмотрения переноса тепла рассчитывалась доля входящих на территорию и выходящих из неё адвективных потоков для каждой границы в отдельности (рис. 1). За период 1979–2018 гг. во все сезоны года в Северной Атлантике в высоких широтах преобладающим направлением является перенос тепла с юга на север и перенос холода с запада на восток (44%), что обусловлено циклонической циркуляцией океана в этом районе. В субтропическом круговороте, наоборот, антициклонический тип циркуляции приводит к тому, что максимальный вход тёплого воздуха осуществляется через восточную границу (77%).

В Северной части Тихого океана, в отличие от Северной Атлантики, преобладает меридиональный перенос (более 70%): 1) холодного воздуха с севера на юг зимой, что обусловлено затоком холода с Северо-Западных районов Евразии; и 2) тёплого воздуха с юга на север летом. В значительно меньшей степени (до 30%), в субтропическом круговороте присут-

ствует перенос потока тепла с запада на восток летом (холода зимой), за счёт поступления вод Индийского океана в экваториальные широты Тихого.

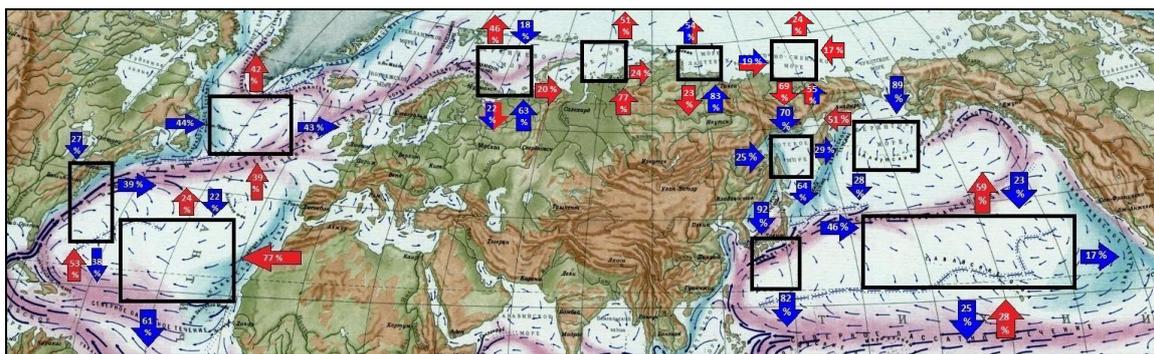


Рисунок 1. Доля адвективного переноса тепла в океанах Северного полушария зимой за период 1979 – 2018 гг. (синие стрелки – поток холода, красные – поток тепла).

Для районов Северного Ледовитого океана во все сезоны года также преобладает меридиональный перенос. При этом зимой в моря СЛО поступает холодный воздух с юга (83% в море Лаптевых), а выходит тёплый воздух в большей степени с севера (54%), а в значительно меньшей – с юга и востока. В остальные сезоны меридиональная составляющая переноса сохраняется, однако, с юга поступает тёплый воздух.

В начале XXI века наиболее значимые изменения циркуляции отмечаются в субполярном круговороте Северной Атлантики, где во все сезоны года наблюдается ослабление меридионального переноса на 8% за счёт сокращения входящего потока с юга весной, летом и осенью, и входа с севера зимой. Одновременно с этим в субтропических широтах Атлантики наблюдается значимое усиление зональной циркуляции на 11% за счёт роста входа тепла с востока во все сезоны года. В Тихом океане, наоборот, прослеживается тенденция роста меридионального переноса на 5% в средних и низких широтах, главным образом, за счёт увеличения выхода тепла с северной границы. В Северном Ледовитом океане значимых изменений адвективного переноса в начале XXI века не обнаружено.

Оценки вихревого переноса тепла показали, что значения адвективного переноса в несколько раз превышают соответствующие суммарные значения вихревых потоков, при этом в высоких широтах зимой различия максимальны, а в низких широтах, наоборот, выше летом. Однако, наблюдается сходство в преобладающих направлениях теплопереноса и во временных изменениях потоков.

В результате проделанной работы можно сделать следующие выводы. В большинстве районов океанов Северного полушария преобладает меридиональная составляющая адвективного и вихревого переноса тепла. В начале XXI века наиболее значимые изменения циркуляции отмечаются в субполярном круговороте Северной Атлантики, где во все сезоны года наблюдается ослабление меридионального переноса на 8% за счёт сокращения входящего потока с юга и севера.

1. Усова Е.И., Логинов С.В., Харюткина Е.В. Влияние изменчивости потоков тепла в районе Баренцева моря на температурный режим Западной Сибири в зимний период // Оптика атмосферы и океана. 2018. Т. 31. № 08. С. 652-659.

2. Логинов С.В., Елисеев А.В., Мохов И.И. Влияние негауссовой статистики атмосферных переменных на экстремальные внутримесячные аномалии // Известия РАН. Физика атмосферы и океана. 2017. т. 53. № 3. С. 307-317.

ИЗМЕНЧИВОСТЬ СОСТАВЛЯЮЩИХ ТЕПЛООВОГО БАЛАНСА НА ТЕРРИТОРИИ ЛЕСОБОЛОТНЫХ ЭКОСИСТЕМ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ НА ФОНЕ СОВРЕМЕННЫХ КЛИМАТИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ

Усова Е.И., Логинов С.В., Харюткина Е.В.

Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН (г. Томск)
janey@sibmail.com

Наблюдаемые климатические изменения, вызванные как естественными, так и антропогенными причинами, приводят к смене режимов функционирования природных экосистем, в том числе и изменению составляющих теплового баланса территории. Водная поверхность болот за счёт небольшого альбеда хорошо поглощает поступившую солнечную радиацию, и отдаёт ее в атмосферу в виде потоков явного и скрытого тепла. С другой стороны, в последние годы возросла роль адвекции в изменении температуры воздуха [1].

Цель исследования заключается в изучении изменчивости составляющих теплового баланса и адвективного переноса влаги на территории лесоболотных экосистем Западной Сибири на фоне современных климатических изменений в летний сезон.

Проводилась оценка среднесезонной изменчивости потоков явного (S) и скрытого (L) тепла в летний сезон за период 1979–2014 гг. по данным реанализа ERA-Interim с учётом заболоченности местности. Территория лесоболотных экосистем Западной Сибири была разделена на 2 района: южный ($50\text{--}62^\circ$ с.ш.) и северный ($62\text{--}73^\circ$ с.ш.). Уровень заболоченности определялся по отношению площади болота, находящегося в ячейке реанализа к площади этой ячейки (K). Анализ проводился для уровней $K=0,1$ (0–10% территории покрыто болотами) и $K=0,5$ (25% – 50% соответственно). Информация о пространственном расположении болот и их типе была получена из [2]. Также проводилась оценка адвективного переноса сухого и влажного воздуха за исследуемый период в слое 1000–850 гПа в летний сезон. Методика расчета адвективных потоков подробно описана в [1].

На рис. 1 приведена межгодовая изменчивость потока скрытого тепла за летний сезон в районах Западной Сибири, в зависимости от различных уровней заболоченности. Тенденция к увеличению потока наблюдается до ~2005 года, далее значимых изменений не обнаружено. Для юга лесоболотных экосистем за период 1979–2014 гг. для всех уровней заболоченности характерны статистически значимые L (при $\alpha=0,05$), с наибольшими изменениями при $K=0,5$ ($1,4 \cdot 10^5$ Дж/м²/10лет).

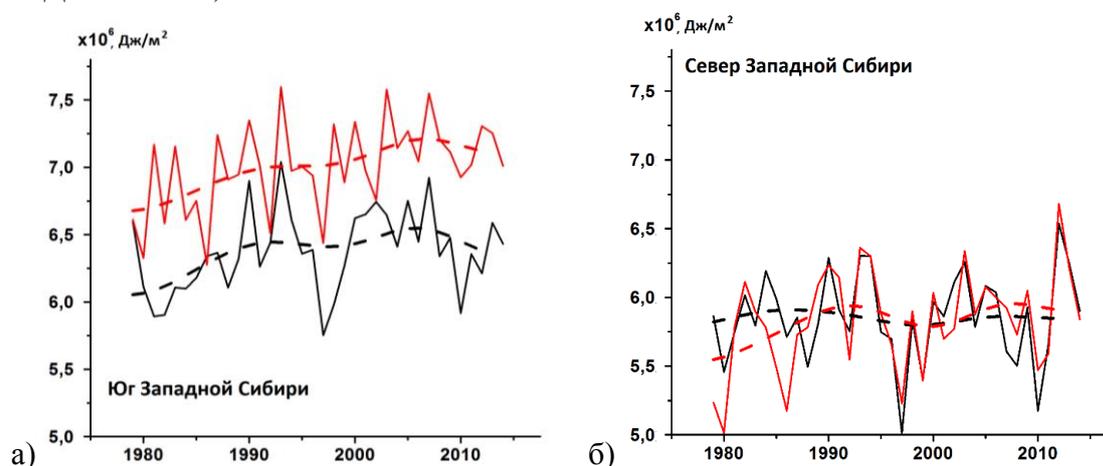


Рисунок 1. Межгодовая изменчивость потока скрытого тепла за летний сезон в районах Западной Сибири при различных уровнях заболоченности: $K=0,1$ -черная линия, $K=0,5$ -красная линия.

Во временном ходе S , в отличие от L , в Западной Сибири в последние годы наметилась тенденция к его увеличению. Однако, в среднем за период 1979–2014 гг., тренд потока скры-

того тепла отрицательный, с наибольшей изменчивостью на юге территории при $K=0,5$ ($-9,6 \cdot 10^4$ Дж/м²/10лет). При этом тренды потоков явного и скрытого тепла на севере в 2 раза меньше, чем на юге. В начале 21 века в летний сезон наблюдается рост величин балансов длинноволновой и коротковолновой радиации.

Сильная заболоченность характеризуется высокими значениями как величины испарения с поверхности, так и потока скрытого тепла, при этом на юге территории такая связь выражена сильнее, чем на севере. Величина потока в заболоченной местности (до 50% территории) на ~13% превышает значения, характерные для районов слабой заболоченности (до 10%). Обратная зависимость выявлена для потока явного тепла.

Выявленные тенденции могут быть связаны с изменением адвекции воздушных масс в регионе лесоболотных экосистем Западной Сибири (50–70° с.ш., 60–90° в.д.). На рис. 2 приведена временная изменчивость адвективного переноса воздуха, входящего и выходящего через южную границу района летом. Показано, что в начале 21 века наблюдается увеличение потока влажного воздуха, уходящего с территории Западной Сибири через южную границу на 6 % (на $0,3 \cdot 10^5$ г/кг) (рис. 2а). Одновременно с этим растёт величина сухого воздуха (рис. 2б), поступающего в регион лесоболотных экосистем с юга.

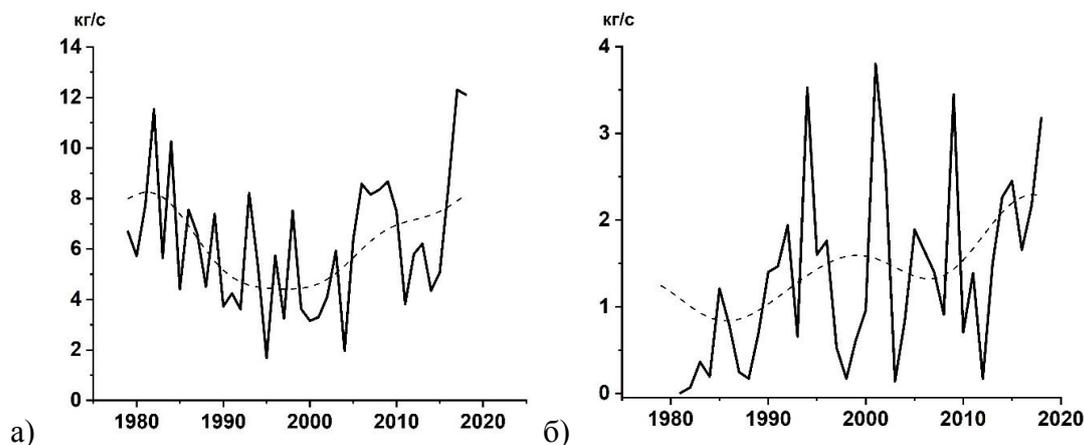


Рисунок 2. Временная изменчивость адвективного переноса влажного воздуха, уходящего с территории лесоболотных экосистем Западной Сибири (а), и сухого воздуха, приходящего в регион (б) через южную границу летом ($\cdot 10^5$, кг/с).

Это согласуется с результатами, приведенными в [1], где отмечается, что, начиная с середины 90-х гг. уменьшается поток тёплого влажного воздуха, а следовательно, увеличивается поток сухого воздуха.

Таким образом, в условиях современного глобального потепления состояние лесоболотных экосистем Западной Сибири в начале 21 века характеризуется уменьшением альбедо поверхности болот и, как следствие, ростом поглощённой коротковолновой радиации и потока явного тепла. Вместе с тем влажность приповерхностного воздуха и поток скрытого тепла уменьшаются, что может быть связано с уменьшением адвекции влажных воздушных масс в регион.

Работа выполнена при финансовой поддержке научного проекта ПФИ СО РАН «Междисциплинарные интеграционные исследования» (проект № 45).

1. Усова Е.И., Логинов С.В., Харюткина Е.В. Влияние изменчивости потоков тепла в районе Баренцева моря на температурный режим Западной Сибири в зимний период // Оптика атмосферы и океана. 2018. Т. 31. № 08. С. 652-659.

2. Sheng, Y., L.C. Smith, G.M. MacDonald, K.V. Kremenetski, K.E. Frey, A.A. Velichko, M. Lee, D.W. Beilman, and P. Dubinin. 2004. A High-Resolution GIS Based Inventory of the West Siberian Peat Carbon Pool. *Global Biogeochemical Cycles*, 18, GB3004.

РАСЧЁТ ГЛУБИНЫ ПРОМЕРЗАНИЯ ГРУНТА ПОД ОГОЛЁННОЙ И ПОКРЫТОЙ СНЕГОМ ПОВЕРХНОСТЬЮ НА МЕТЕОСТАНЦИИ МГУ ЗА ЗИМНИЕ СЕЗОНЫ 2011/12-2017/18

Фролов Д.М.

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова (г. Москва)
denisfrolov@mail.ru

Известно, что накопление снежного покрова может вести к деградации многолетней мерзлоты в зоне её непрерывного распространения, а отсутствие снежного покрова – к возникновению мерзлоты в зоне её прерывистого (островного) распространения или отсутствия.

Была построена расчётная схема для определения глубины промерзания под оголётной и покрытой снегом поверхностью на основе данных о температуре воздуха и толщине снежного покрова. Были произведены расчёты глубины промерзания по данным метеообсерватории МГУ для оголётной и покрытой снегом поверхности за зимние сезоны 2011/12-2017/18. Было также произведено сравнение расчётной глубины промерзания за эти зимние сезоны с фактически наблюдаемой глубиной промерзания, используя ежегодники метеообсерватории МГУ [1–6], которое показало хорошее соответствие. Выявлено, что разность значений глубины промерзания для оголётной и неоголётной поверхности почвы может достигать десяти крат.

Для открытой поверхности расчетная схема строится на основе задачи теплопроводности двух сред (мерзлый и талый грунт) с фазовым переходом на границе между ними. Уравнение теплового баланса включает энергию фазового перехода, приток тепла из талого грунта и отток в мерзлый грунт и атмосферу. Поток тепла рассчитывался по закону Фурье, как произведение теплопроводности и градиента температуры. Предполагалось, что температура в каждой из сред изменяется линейно.

В случае покрытой снегом поверхности расчетная схема была построена на основе задачи теплопроводности трехслойной среды (снег, мерзлый и талый грунт) с фазовым переходом (рис. 1). Уравнение теплового баланса включает энергию фазового перехода, приток тепла из талого грунта и отток в мерзлый грунт, снежный покров и атмосферу. Поток тепла рассчитывался по закону Фурье, как произведение теплопроводности и градиента температуры. Предполагалось, что температура в каждой из сред изменяется линейно. Для снежного покрова и мерзлого и талого грунта использовалась формула теплопроводности трехслойной среды.

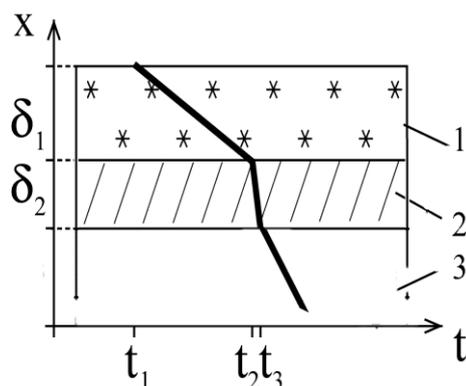


Рисунок 1. Распределение температуры в среде, состоящей из снежной толщи (1), слоя мерзлого (2) и слоя талого грунта (3).

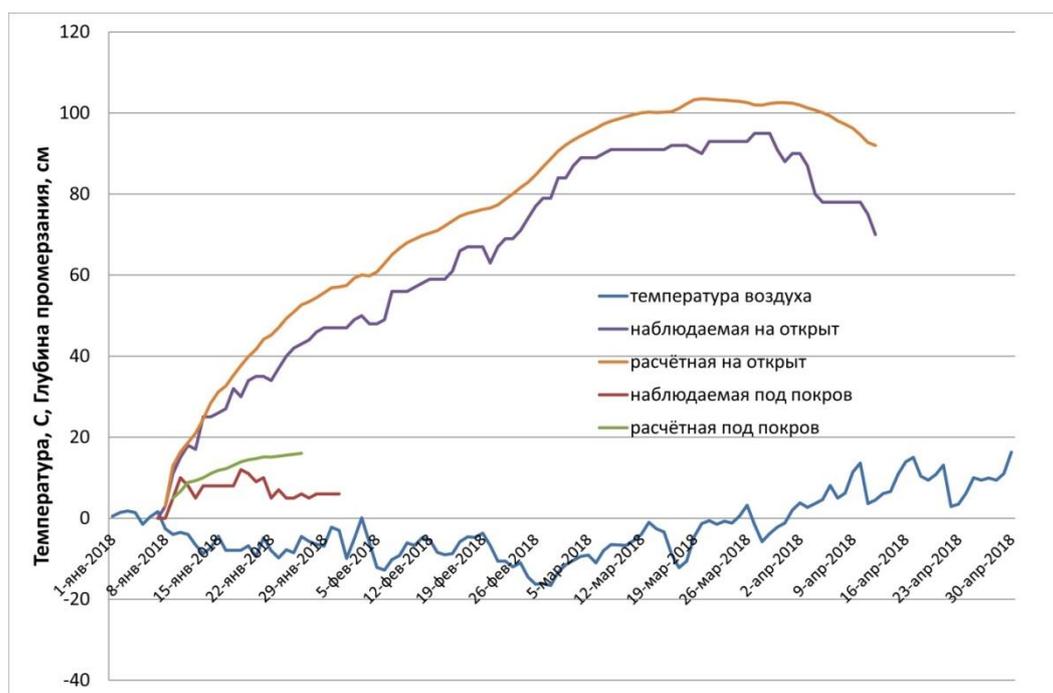


Рисунок 2. Изменения температуры воздуха и глубины промерзания по данным расчётов и наблюдений для открытой и покрытой снегом поверхности грунта для метеостанции МГУ для зимнего сезона 2017-2018.

Получение завышенных расчётных значений глубины промерзания может быть объяснено тем, что в уравнение баланса тепла не учитывались тепловой поток на охлаждение грунта, а только на фазовый переход.

1. Эколого-климатические характеристики атмосферы в 2012 г. по данным Метеорологической обсерватории МГУ, под редакцией Н.Е.Чубаровой / И. Б. Беликов, Е. В. Горбаренко, И. Д. Ерёмину и др. — МАКС Пресс Москва, 2013. — 207 с.

2. Эколого-климатические характеристики атмосферы в 2013 г. по данным Метеорологической обсерватории МГУ, под редакцией Н.Е.Чубаровой / И. Б. Беликов, Е. В. Горбаренко, И. Д. Ерёмину и др. — МАКС Пресс Москва, 2014. — 168 с.

3. Эколого-климатические характеристики атмосферы в 2014 г. по данным Метеорологической обсерватории МГУ имени М.В. Ломоносова. Под ред. Шиловцевой О.А. и Незваль Е.И / К. И. Ахиярова, И. Б. Беликов, О. А. Волкова и др. — МАКС Пресс Москва, 2015. — 235 с.

4. Эколого-климатические характеристики атмосферы в 2015 г. по данным метеорологической обсерватории МГУ имени М.В. Ломоносова / К. В. Авилова, Н. А. Бунина, О. А. Волкова и др. — МАКС Пресс 2016, 2016. — 268 с.

5. Эколого-климатические характеристики атмосферы в 2016 г. по данным метеорологической обсерватории МГУ имени М.В. Ломоносова под редакцией Е.И. Незваль, И.В.Сошинской / Е. Ю. Жданова, М. А. Локощенко, А. Ю. Богданович и др. — МАКС Пресс Москва, 2017. — 245 с.

6. Эколого-климатические характеристики атмосферы Москвы в 2017 г. по данным Метеорологической обсерватории МГУ имени М.В.Ломоносова. Под редакцией М.А. Локощенко / М. А. Локощенко, Е. Ю. Жданова, А. Ю. Богданович и др. — Москва: Москва, 2018. — 240 с.

МЕЗОМАСШТАБНЫЕ ЦИКЛОНЫ ОБЬ-ИРТЫШСКОГО МЕЖДУРЕЧЬЯ

Чурсин В.В., Кужевская И.В.

Томский государственный университет (г. Томск)

skriptym@mail.ru

Опасные метеорологические явления являются самым существенным проявлением нестабильности климата. За последние 20 лет в связи с существенными колебаниями климата их количество на территории Российской Федерации возросло, и они носят катастрофический характер, который приводит к огромным материальным потерям. Решения, принимаемые в различных странах по предоставляемой информации гидрометеорологических служб и аналитики климата, играют существенную роль в жизни и экономическом благополучии множества людей по всему миру. Этот факт, о чем свидетельствуют исследования [1-3], показывает значимую роль гидрометеорологических служб в устойчивом и планомерном развитии отраслей экономики и общества в целом.

На данный момент опасные погодные явления (ОЯ), связанные с фронтальными системами достаточно хорошо поддаются прогнозированию, чего нельзя сказать о ситуациях, когда подобные случаи являются следствием возникновения мезомасштабного циклона (МЦ). Большое количество разнообразных движений в атмосфере связано с влиянием сил различного происхождения [4]. Большой интерес в данном случае представляют вихри синоптического масштаба – с горизонтальными размерами от 100 до 1000 км. Продолжительность жизни таких образований не превышает несколько суток. Впервые, они были обнаружены в середине XIX века. С этого момента началось активное изучение физических механизмов их возникновения, структуры и развития.

Сегодня, оценка влияния на погоду мезомасштабных циклонов производится при помощи математического моделирования [5] и привлечения данных дистанционного зондирования Земли [6]. Однако, эти исследования проводятся, в основном, для морских акваторий [7].

Цель исследования – выявление различий мезомасштабных процессов в зависимости от микрофизических характеристик облачности, их распределение над исследуемой территорией и сопоставление очагов зарождения мезоциклонов с опасными погодными явлениями.

Работа посвящена детектированию мезомасштабных циклонов над территорией Западной Сибири, а также исследованию микрофизических характеристик их облачности в период с 2014 по 2017 год (60 случаев возникновения). Исходными данными послужили следующие атмосферные параметры из облачного продукта ATML2 радиометра MODIS: Water Vapor, Cloud Water Path, Cloud Top Temperature, Cloud Top Height, Cloud Optical Thickness, Cloud Effective Radius [8]. Для определения ОЯ в точке нахождения МЦ использовалась телеграмма кода WAREP.

В результате объективной классификации мезомасштабных циклонов они были разделены на 3 класса: 1 классу соответствуют мезоциклоны, образовавшиеся в теплый период года, преимущественно внутримассовые, с значительным распространением по высоте; 2 классу принадлежат мезоциклоны, образовавшиеся в фронтальных системах, с самыми низкими температурами на верхней границе облачности (среднее значение - 225 К), имеющие наибольшую оптическую толщину (46 у.е.) и наибольшие значения кинетической энергии ($0,99 \cdot 10^6$ Дж/м²); к 3 классу относятся внутримассовые мезоциклоны с малым распространением по высоте и самыми высокими значениями температуры на верхней границе облачности.

Сопоставляя координаты зарождения и телеграммы кода WAREP (Таблица 1) - Мезоциклоны 1 и 2 класса, в более 80 % случаев, сопровождалась такими опасными явлениями как гроза, сильный ветер, ливневый дождь, ливневый снег. Для случаев 3 класса опасные явления фиксировались лишь в 47 % случаев, в основном это был ливневый снег.

Таблица 1. Распределение опасных метеорологических явлений за 2015-2017 гг. в зависимости от класса характеристик МЦ.

	Гроза	Сильный ветер	Ливневый дождь	Ливневый снег	Мокрый снег	Изморозь	Сумма
1 класс	45	18	18				81
2 класс	32	36		9		5	82
3 класс	11	2		33	1		47

Исходя из того, что результатом работы предыдущего исследователя [9] является перечень случаев формирования МЦ, содержащий в себе дату образования, продолжительность жизни, координаты зарождения и разрушения, мы можем оценить пространственную частоту возникновения мезоциклонов над исследуемой территорией. В ходе работы была построена карта, отражающая точку зарождения МЦ. Также согласно координатной сетке была произведена количественная оценка случаев зарождения МЦ. Оценивалось количество мезоциклонов внутри каждого квадрата, ограниченного линиями широты и долготы. Так, наиболее часто мезомасштабные циклоны возникали в квадрате 72-76° в.д., 55-57° с.ш. и их количество за период с 2014-2017 год составило 6 штук.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант 18-45-700010 p_a).

1. Бедрицкий А.И. Влияние погоды и климата на устойчивость и развитие экономики // Бюллетень ВМО. 1999. Т. 48. № 2. С. 215-222.

2. Бедрицкий А.И., Коршунов А.А. Опасные гидрометеорологические явления и их влияние на экономику России. Обнинск. 2001. 36 с.

3. Бедрицкий А.И., Коршунов А.А., Хандожко Л.А., Шаймарданов М.З. Показатели влияния погодных условий на экономику: региональное распределение экономических потерь и экономической выгоды при использовании гидрометеорологической информации и продукции // Метеорология и гидрология. 1999. № 3. С. 5-17.

4. Zahn M., von Storch H., Bakan S. Climate mode simulation of North Atlantic Polar Lows in a limited area model // Tellus. 2008. V. 60A. P. 620-631.

5. Горбатенко В.П., Нечепуренко О.Е., Кречетова С.Ю., Беликова М.Ю. Верификация параметров неустойчивости атмосферы, восстановленных по данным спектрорадиометра MODIS/Terra данными аэрологического зондирования // Оптика атмосферы и океана. 2016. Т. 29. № 7. С. 603-607.

6. Нечепуренко О.Е., Горбатенко В.П., Барт А.А., Беликова М.Ю. Прогноз пространственной локализации конвективных кластеров по данным глобальной модели прогноза ПЛАВ // В сборнике: Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы Материалы XXII Международного симпозиума. Электронный ресурс. 2016. С. D11-D14.

7. Луценко Э.И. Мезомасштабный циклогенез над арктическими морями по спутниковым наблюдениям // Труды ААНИИ. 1999 Т. 441 С. 202-213.

8. EOSDIS Worldview. [Электронные данные]. – URL: <https://earthdata.nasa.gov/labs/worldview/> (дата обращения 12.08.2018).

9. Тунаев Е.Л., Горбатенко В.П., Поднебесных Н.В. Особенности циклогенеза над территорией Западной Сибири за период 1976-2015 гг. // Труды Гидрометцентра России, Гидрометеорологические прогнозы. № 364. С. 81-92.

ИЗУЧЕНИЕ РЕЖИМА ОСАДКОВ И ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМА НА СЕВЕРНОЙ ГРАНИЦЕ ГОР АЛТАЯ

Шанкибаева М.Х., Кочеева Н.А.

Горно-Алтайский государственный университет (г. Горно-Алтайск)
Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова (Казахстанский филиал)
nina_kocheewa@mail.ru, Shankibaeva77@mail.ru

Влажность и температура воздуха, как и другие свойства атмосферы, играют важную роль в формировании климата XXI века, оказывая непосредственное влияние, как на тепловые условия атмосферы, так и на водный режим суши.

В качестве исследования были выбраны две метеорологические станции, расположенных в контрастных физико-географических условиях. Авиационная метеорологическая станция гражданская (АМСГ) располагается на границе равнин Западной Сибири и гор Алтая и гидрометеорологическая станция (ГМС) расположенная на равнине. Эти различия влияют как на прогреваемость подстилающей поверхности, так и на количество выпадения осадков. Исходными данными послужили, архивные данные аэропорта АМСГ и ЦГМС Горно-Алтайска. Использованы результаты регулярных и специальных наблюдений за период исследования с 2006 по 2015 год. Обработка и анализ данных осуществлялся с помощью программ ГИС-технологий и " Google earth pro".

В процессе перемещения воздушных масс под влиянием подстилающей поверхности свойства воздуха изменяются, несмотря на это, арктический воздух приносит похолодание, тропический – сильное потепление, атлантический – осадки.

В этой связи целью настоящего исследования является изучение структуры и связи между комплексом метеорологических явлений, т.е. режима осадков и температурного режима на Северной границе гор Алтая.

Атмосферные осадки определяют характер климата местности. Они испытывают значительные пространственные и временные изменения. Изменчивость средних и экстремальных величин за исследуемый период связана с физико-географическими особенностями, характером циркуляции атмосферы и времени года, но несмотря на это наблюдается снижение их годовой суммы. Обильные дожди и выпадение града сопровождаются опасными явлениями погоды, причем чаще всего активной грозовой деятельностью в летний, весенне-летние сезоны, и осенний, осенне-зимние сезоны активными высотными циклонами сопровождающимися сильными и продолжительными снегападами. Наибольшая повторяемость дней с ливневыми осадками приходятся на 2007, 2009 и 2012, 2014 гг. Максимальное количество твердых осадков было зафиксировано в 2009 и 2015 гг.

Зависимость термических условий сезонов от особенностей общециркуляционных процессов рассмотрена на примере 10-летнего периода. Температура воздуха как важный показатель – определяет сроки наступления сезонов года. По многолетним данным двух станций авторы рассчитывали сроки наступления сезонов по принятой методике: весна – устойчивый переход температуры воздуха через 0 °С, осень – переход среднесуточной температуры воздуха через +10 °С в сторону понижения; зима – устойчивый переход температуры воздуха через 0°С в сторону [1].

Максимальная температура воздуха зарегистрирована одновременно на двух станциях только в 2008 г. Еще большие различия выявлены для минимальной температуры воздуха, временных совпадений которой не установлено.

Пространственная близость пунктов наблюдения обуславливает ожидание синхронности средних, максимальных и минимальных показателей (рис. 1). По мнению авторов, это говорит о значительном вкладе рельефа в формирование различий температуры воздуха.

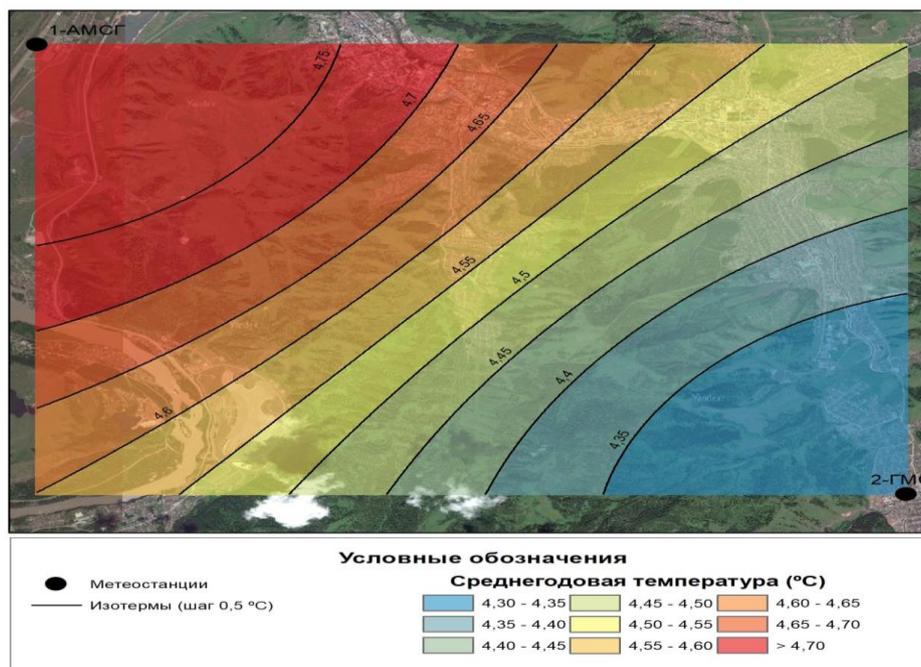


Рисунок 1. Пространственное распределение температуры воздуха между метеорологическими станциями АМСГ и ГМС.

Анализ полученных данных показывает, что отклонения от средних многолетних показателей температуры воздуха за декаду – явление обычное и проявляется на двух станциях в течение всего периода исследования. Также нужно отметить, что средняя годовая температура воздуха близка на двух пунктах наблюдения, но отмечаются её значительные колебания, что является отражением характерных для горной страны микроклиматических различий. Рассчитанные элементарные статистики позволили определить «аномальные» величины отклонений.

Проделанная работа говорит о том, что на территории исследования зимний сезон продолжается 5 месяцев, сокращаясь, отдельные годы до 4 месяцев. Число таких лет не превышает 20% за период наблюдений. Это исследование важно для определения связи сезонной температуры воздуха с циклонической деятельностью.

Таким образом, наблюдаемые изменения климата важны как с географической, так и с экологической точек зрения. Соотношение тепла и влаги определяет формирование типа ландшафта, его биопродуктивность и направленность геоэкологических процессов.

1. Кочеева Н.А., Шанкибаева М.Х. Особенности температуры воздуха на границе гор Алтая и равнин Западной Сибири / Вестник Удмуртского университета. Биология. Науке о Земле. 2018. Т.27 Вып. 4. С. 538.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ОСЛАБЛЕНИЯ ОПТИЧЕСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ГНУСОМ В ФОНОВЫХ УСЛОВИЯХ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

Щелканов Н.Н.

Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН (г. Томск)
snn@iao.ru

Исследование коэффициента ослабления оптического излучения гнусом проводилось с 8 июля по 13 октября 2018 года на полигоне «Фоновый» ИОА СО РАН, находящийся западнее г. Томска на расстоянии 60 км [1]. Коэффициенты ослабления оптического излучения измерялись в участках спектра с центрами на длинах волн 548, 632, 692, 868 и 1056 нм с помощью измерителя спектральной прозрачности атмосферы на трассе с отражением общей длиной 1200 м. Измерительная трасса проходила над травяным полем на высотах 2-4 м над подстилающей поверхностью и на расстоянии 50-80 метров от правого берега реки Обь. Всего получено 1436 спектров коэффициентов ослабления, в том числе для июля – 429, августа – 446, сентября – 332 и октября – 229. Коэффициент ослабления излучения гнусом определялся на длине волны 868 нм. Для этого из общего коэффициента ослабления вычитались грубодисперсная и субмикронная компоненты. Для исключения субмикронной компоненты использовалась разность между коэффициентами ослабления на длинах волн 548 и 868 нм. Грубодисперсная компонента учитывалась по модели для теплых сезонов года Западной Сибири [2], где наиболее вероятное значение коэффициента ослабления равно $0.047 \pm 0.009 \text{ км}^{-1}$.

На рисунке 1 представлен временной ход среднесуточных значений коэффициента ослабления излучения гнусом (сплошные кривые) и его среднемесячные значения (штриховые прямые) на длине волны 868 нм с 8 по 31 июля (а), с 1 по 21 августа (б), с 1 по 17 сентября (в) и с 1 по 13 октября (г) 2018 года.

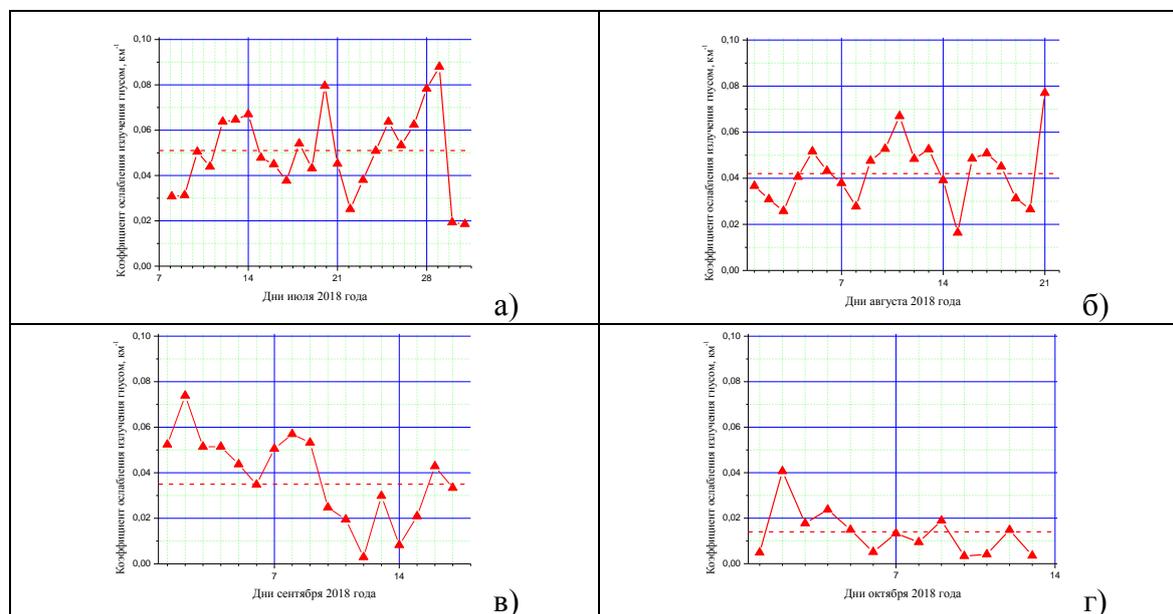


Рисунок 1. Временной ход среднесуточных значений коэффициента ослабления излучения гнусом на длине волны 868 нм с 8 по 31 июля (а), с 1 по 21 августа (б), с 1 по 17 сентября (в) и с 1 по 13 октября (г) 2018 года.

Из рисунка видно, что среднесуточные значения коэффициента ослабления изменяются от 0.003 до 0.088 км^{-1} . Временной цикл изменчивости среднесуточных значений коэффициентов ослабления излучения гнусом составляет 6÷9 дней. Среднемесячные значения коэф-

коэффициентов ослабления излучения гнусом составили: июль - 0.051 км^{-1} , август - 0.042 км^{-1} , сентябрь - 0.035 км^{-1} и октябрь - 0.014 км^{-1} .

На рисунке 2 приведены суточные хода коэффициента ослабления на длине волны 868 нм для июля (а), августа (б), сентября (в) и октября (г) 2018 года.

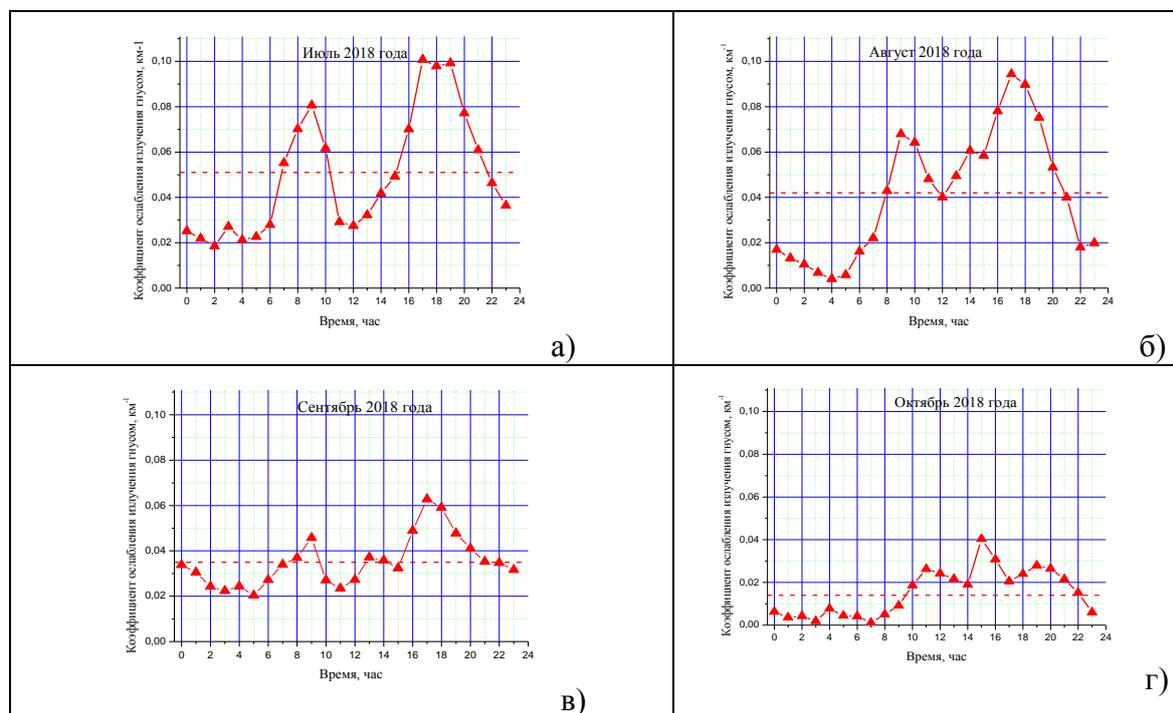


Рисунок 2. Суточные хода коэффициента ослабления излучения гнусом на длине волны 868 нм с 8 по 31 июля (а), с 1 по 21 августа (б), с 1 по 17 сентября (в) и с 1 по 13 октября (г) 2018 года.

В суточном ходе для июля, августа и первой половины сентября имеется два максимума. Первый максимум приходится на 9 часов. Этот максимум соответствует результатам [3], полученным летом 2014 года. Второй максимум является более сильно выраженным, он имеет пиковые значения в 17 часов. Минимальные значения коэффициента наблюдаются в ночные часы и в 12 часов. В суточном ходе для второй половины сентября и октября имеется один максимум в дневные часы. Обнаружено, что уменьшение среднесуточных значений коэффициентов ослабления в июле и августе наблюдается в большей степени за счет утреннего максимума.

1. Щелканов Н.Н. Суточный ход коэффициента ослабления оптического излучения гнусом и его зависимость от метеорологических параметров атмосферы для фоновых условий лета Западной Сибири // Оптика атмосферы и океана. 2018. Т.31. №09. С.760-763. DOI: 10.15372/AOO20180910

2. Рахимов Р.Ф., Ужegov В.Н., Макиенко Э.В., Пхалагов Ю.А. О наиболее вероятных значениях коэффициента аэрозольного ослабления атмосферной дымки по долговременным рядам наблюдений на приземной горизонтальной трассе // Оптика атмосферы и океана. 2005. Т.18. №07. С.566-573.

3. Щелканов Н.Н., Ужegov В.Н. Оценки вклада гнуса в ослабление оптического излучения для фоновых условий лета Западной Сибири // Оптика атмосферы и океана. 2017. Т.30. №05. С.388-392. DOI: 10.15372/AOO20170505

Секция 2

МОНИТОРИНГ ЭКОСИСТЕМНЫХ ИЗМЕНЕНИЙ

ПРИРОДНЫЕ УСЛОВИЯ И КЛИМАТ ЮЖНОЙ ТАЙГИ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ ЗА ПОСЛЕДНИЕ 9000 ЛЕТ ПО ДАННЫМ СПОРОВО-ПЫЛЬЦЕВОГО АНАЛИЗА ВОДОРАЗДЕЛЬНОГО БОЛОТА

Антипина Т.Г.¹, Преис Ю.И.², Галимов А.Т.¹

¹ Ботанический сад УрО РАН (г. Екатеринбург)

² Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН (г. Томск)
antanya1306@mail.ru, preisyui@rambler.ru

Региональные мониторинговые исследования природных экосистем, способствуют реконструкции современного структурно-функционального состояния растительных сообществ и прогнозу их экосистем в ближайшем будущем.

Голоценовые торфяники – естественные природные архивы изменений природно-климатических условий последних 12 000 лет.

История формирования лесной зоны Западной Сибири в течение голоцена имеет белые пятна, большее количество разрезов с реконструированной палеоэкологической информацией расположено в среднетаежной зоне и лесостепи. Южнотаежная подзона изучена в меньшей степени. Большинство исследованных разрезов расположены в долинах рек, отепляющее воздействие которых в значительной мере могло способствовать искажению информации.

Цель исследования – провести палеореконструкции лесной растительности и климата за последние 9 000 лет по данным спорово-водораздельного болота.

Разрез расположен в самом центре Обь-Иртышского водораздела, в верховье р. Большая Казанка, в центральной части Большого Васюганского болота. Торфяной разрез «Болтное» (57° 04' 44,3' с.ш.; 79° 34' 29,2' в.д., высота 148 м над ур. м.) заложен на окраине одного из локальных вершинных плато, в низком регрессивном рьяме (сосново-кустарничково-мохово-лишайниковом).

Исследование торфяной залежи проведено с высокой степенью детализации до глубины 100 см с шагом 1–2,5 см, ниже – 5 см. По разрезу выполнен комплекс палеоэкологических и палеоклиматических исследований. Для определения абсолютного возраста образцов торфа применялся метод AMS-датирования. Подготовка проб выполнена в ЦКП "Геохронология кайнозоя" ИАЭТ СО РАН (г. Новосибирск). Получено 11 дат. Калибровка дат произведена в программе CALIB 7.0.4.

Анализ пыльцы, спор и непалиноморф 179 образцов разреза мощностью 7,85 м произведен на базе БС УрО РАН по стандартным методикам. Микроскопические исследования проводились на AXIO Scope A1 (ZEISS) при увеличении 400 раз. Результаты спорово-пыльцевого анализа и непалиноморф (СПА) представлены в виде диаграммы. Реконструкция климатических флуктуаций проведена с учетом знаний об экологических предпочтениях эдификаторов растительности в спорово-пыльцевых спектрах (СПС). Реконструкция динамики растительных формаций произведена методом биомов [1]. Деление голоцена: ранний – (HL₁), > 8 тыс. кал. л. н.; средний – (HL₂) – 8,2–4,2 тыс. кал. л. н.; поздний – (HL₃) – 0–4,2 тыс. кал. л. н. [2].

СПА выявил глобальные и региональные особенности эволюции лесных и болотных экосистем в голоцене (последние 9 тыс. кал. л. н.).

В СПС раннего голоцена преобладает пыльца трав и споры папоротниковидных растений и сфагновых мхов, в древесной части спектра доминируют кустарники: березка карликовая (абсолютный максимум – 74,5%), ива. На диаграмме выделяется нижний максимум пыльцы полынно-маревого-злакового комплекса (40%). На долю эдификаторов (береза, сосна и ель) приходится не более 20% от суммы древесных. Окружающие ландшафты в большей степени были безлесными. Древесная растительность представлена островными лесами. Анализ биомов показал, что доминирует тундра.

В среднем голоцене в СПС увеличивается доля лесной растительности: доминируют березы древовидные (20–55 %) от общей суммы деревьев и кустарников; сосна постепенно укрепляет свои позиции, на диаграмме выделяется несколько максимумов около 6,9; 5,6; 4,8–4,7 тыс. кал. л. н. Около 6,3 тыс. кал. л. н. в районе исследования появляется кедр сибирский, в СПС пыльца присутствует с глубины 640 см, нижележащий слой датирован (5705 ± 66 ^{14}C л. н.). Пыльца широколиственных липы и вяза начинает спорадически появляться в спектрах с глубины 655 см (6,6 тыс. кал. л. н.), постоянно присутствовать 535 см (4,8 тыс. кал. л. н.). Пыльца пихты единично встречается в слоях с глубины 705 см (7,6 тыс. кал. л. н.). Начало ее эмпирической кривой – с 480 см (4,5 тыс. кал. л. н.). Спектры фиксируют холодные влажные осцилляции: 8,7; 8,3 и 4,7–4,2 тыс. кал. л. н. и холодную сухую – 7,2 тыс. кал. л. н.

По данным AMS-датирования зафиксирован перерыв в осадконакоплении более 600 лет между датами 4473 ± 70 и 5013 ± 87 ^{14}C л. н. Биомы показывают резкие изменения. В период 7,9–6 тыс. кал. л. н. возрастает роль лесных биомов, хвойных и смешанных лесов; роль степных и тундровых элементов резко возрастает 8,2; 7,6–7,5; 6,1–5,8; 4,5 тыс. кал. л. н. Повидимому, граница лесостепи продвигалась на север в эти фазы, климатические условия были холодные и сухие.

В спектрах позднего голоцена доминирует древесная растительность. Главными эдификаторами выступают хвойные: сосна обыкновенная, ель и кедр, возрастает участие пихты и береза, доля кустарниковой растительности неукоснительно снижается. Тренд потепления климата отражают СПС позднего голоцена, что соответствует выделенному многими исследователями термическому позднеголоценовому оптимуму. Пики ели, кедра и пихты, а также присутствие пыльцы широколиственных – отражают фазы потепления: 4,0–3,5; 2,6–2,4; 1,4–0,6 тыс. кал. л. н. Холодные осцилляции фиксируются уменьшением доли древесной растительности, присутствием пыльцы лиственницы, заметным увеличением пыльцы марево-полынно-злаковых. Холодные осцилляции зафиксированы нами 2,1–1,8; 1,1 тыс. кал. л. н.; 795–680; 450; 255; 150 кал. л. н. Аридизация климата зафиксирована в периоды: 4280; 3155; 1860–1770; 1590; 740; 400 кал. л. н. Анализ биомов показал хорошую корреляцию данных в периоды сухих похолоданий возрастает роль биомов тундры и степи, в периоды повышения гумидности возрастает роль лесных биомов.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ № 17-05-00860-а.

1. Prentice C. et al. Reconstructing biomes from palaeoecological data: a general method and its application to European pollen data at 0 and 6 ka. / C. Prentice, J. Guiot, B. Huntley, D. Jolly, R. Cheddadi // *Climate Dynamics*, 1996; Vol. 12.185–194 pp.

2. Walker, M. J. C. et al. Formal subdivision of the Holocene Series/Epoch: a Discussion Paper by a Working Group of INTIMATE and the Subcommission on Quaternary Stratigraphy (International Commission on Stratigraphy) / M. J. C. Walker, M. Berkelhammer, S. Björck, L. C. Cwynar, D. A. Fisher, A. J. Long, J.J. Lowe, R.M. Newnham, O. Rasmussen, H. Weiss // *Quaternary Research Association*, 2012. 649–659 pp.

ВЛИЯНИЕ АНОМАЛЬНЫХ ПОГОДНЫХ ФАКТОРОВ НА ПОТОКИ МЕТАНА И ДВУОКСИ УГЛЕРОДА В ЭКОСИСТЕМАХ БАКЧАРСКОГО БОЛОТА

Антохина О.Ю.¹, Давыдов Д.К.¹, Дьячкова А.В.¹, Симоненков Д.В.¹, Фофонов А.В.¹, Maksyutov S.², Nakayama T.²

¹ Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН (г. Томск)

² National Institute for Environmental Studies (Tsukuba, Japan)
alenfo@iao.ru

Экологическое значение болот в основном вызвано фактором высокого обводнения этих экосистем. Водное наполнение делает их важным элементом ландшафта, который влияет на влажностный и углеродный баланс окружающей среды. Способности болот к поглощению двуокиси углерода (CO_2) из атмосферы относительно низко по сравнению с остальными наземными экосистемами. Однако, чистый углерод заключенный в торфяном веществе хранится тысячелетиями, а заболоченные территории Сибири достаточно обширны. Углеродный баланс таких экосистем сильно зависит от влажности торфа, т.е. падение уровня вод (WL) вызовет освобождение CO_2 , тогда как увеличение обводнения определяет величину его изъятия из атмосферы. Испарение имеет прямую связь с WL и прогревом торфяной залежи, что в свою очередь влияет на эффективность метаногенеза в болотных экосистемах.

Так как двуокись углерода и метан (CH_4) вносят наибольший вклад в формирование парникового эффекта (60 и 20%, соответственно) [1], то значение болотных экосистем в поддержании глобального углеродного баланса трудно переоценить. В то время как болотная растительность в результате фотосинтеза аккумулирует атмосферный углерод, разложение органического вещества в торфяной залежи приводит к высвобождению углерода в виде метана.

В настоящем докладе приводятся и обсуждаются результаты многолетних измерений интенсивности газообмена (CO_2 и CH_4) на границе почвы-атмосферы с помощью автоматизированных комплексов «Flux-NIES», состоящих из шести статических камер, последовательно подключаемых к системам газоанализа [2].

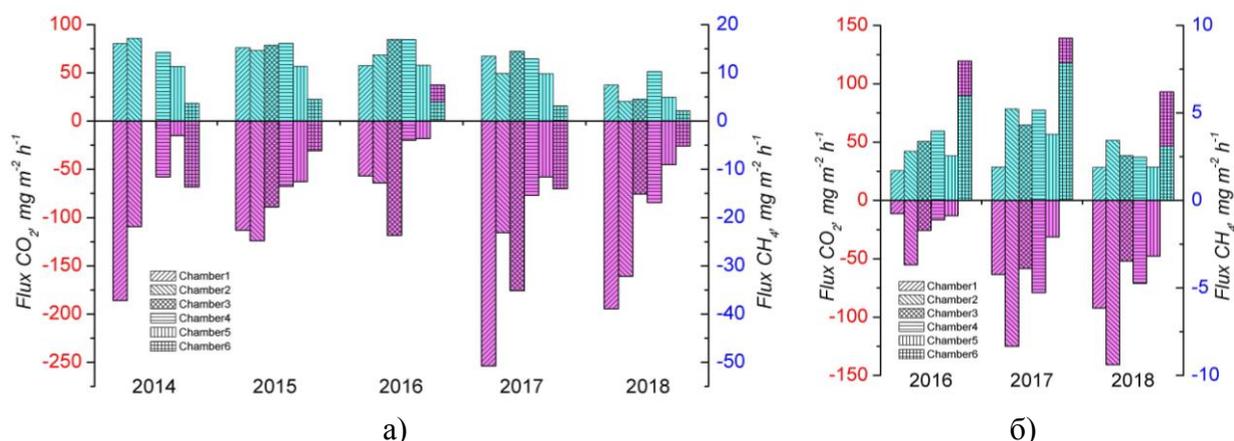


Рисунок 1. Среднесезонные (июнь-сентябрь) потоки CO_2 (красный цвет) и CH_4 (синий) на Бакчарском болоте в 2014-2018 гг.: а) измерительная площадка «Е» на открытой топи; б) площадка «О» в грядово-мочажинно-озерковом комплексе.

Для оценки газового обмена между подстилающей поверхностью и атмосферой были организованы измерительные площадки на двух участках Бакчарского болота (стационар ИПА СО РАН в районе с. Плотниково). Места размещения комплексов «Flux-NIES» различаются как по составу растительности, так и по элементам болотного ландшафта: площадка

«Е» расположена на открытой топи, а площадка «О» в грядово-мочажинно-озерковой болотной экосистеме.

На рисунке 1 представлены результирующие газовые потоки, полученные в ходе измерительных кампаний последних лет. Анализ данных показывает, что наиболее продуктивный метаногенез и поглощение CO_2 в болотных сообществах наблюдались для камер 1–3 площадки «Е» (рис. 1а), относящихся к центральному участку открытой топи. Наименьшая эмиссия зафиксирован на обеих площадках в низком яме (камеры 6 «Е» и 1 «О»).

Сезонное поглощение CO_2 из атмосферы значительно варьируется год от года, как для отдельных растительных сообществ, так и для экосистемы в целом. Например, суммарные показатели стока CO_2 на болотную поверхность в 2017 году на площадках «Е» и «О» значительно превысили величины, наблюдавшиеся в измерительном сезоне 2016 (рис. 1).

Причины такого разброса в поглощении атмосферного углерода болотной поверхностью кроются в погодных условиях конкретного года наблюдений. Подробный межсезонный анализ данных WL выявил значимый уровень корреляции поведения почвенных вод в 2014, 2017 и 2018 гг., когда наблюдался наиболее эффективный сток CO_2 в болотных экосистемах (рис. 1а). Напротив, для наблюдавшегося в 2016 году спада поглощения CO_2 в болотных экосистемах было зафиксировано повышенное испарение почвенной влаги, а измеренный среднесезонный WL оказался минимальным за пять лет.

Зафиксированное межгодовое поведение потоков метана в исследуемых экосистемах показывало достаточно стабильные величины эмиссии CH_4 в 2014–2017 гг., причем суммарная продуктивность метаногенеза в открытой топи (площадка «Е») оказалась значительно выше по сравнению с грядово-мочажинным комплексом (площадка «О», за исключением камеры 6 «О» располагавшейся на озерной поверхности, см. рис. 1б). Однако, в сезоне 2018 г. значения эмиссии CH_4 показали почти повсеместное падение в 1,5–2 раза (рис. 1).

Причины такого критического изменения в газообмене на болотной поверхности были связаны с наблюдавшимися аномальными количествами осадков и высокими значениями WL в период выхода процессов метаногенеза на сезонный максимум в конце июня начале июля. Приток избыточной атмосферной влаги мог вызвать вымывание и вынос за пределы болота питательного субстрата необходимого для жизнедеятельности метаногенных микроорганизмов, а также нарушить баланс биохимических процессов, отвечающих за окисление CH_4 в болотных экосистемах.

Работа выполнена при поддержке грантов РФФИ № 17-05-00119 и № 18-45-700020 ра. Обеспечение полевых измерений осуществлялось при участии Фонда глобальных исследований окружающей среды для Национальных институтов Министерства окружающей среды Японии.

1. Кароль И.Л. Атмосферный метан и глобальный климат // Природа. 2004. №7. С. 47–52.
2. Краснов О.А., Maksyutov S., Глаголев М.В., Катаев М.Ю., Inoue G., Надеев А.И., Шелевой В.Д. Автоматизированный комплекс «Flux-NIES» для измерения потоков метана и диоксида углерода // Оптика атмосферы и океана. 2013. Т. 26, № 12. С.1090-1097.

МОРФОЛОГИЯ, СТРАТИГРАФИЯ И ТОРФООБРАЗОВАНИЕ В ДЕЯТЕЛЬНОМ ГОРИЗОНТЕ РЯМОВЫХ ЭКОСИСТЕМ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

Базанов В.А., Савичев О.Г., Сеченов В.А.
Томский государственный университет (г. Томск)
showrest.com@yandex.ru

Участок проведения исследований находится в центральной части водораздела рр. Оби и Иртыша в верховьях р Чузик на Большом Васюганском Болоте (БВБ), координаты углов (N57,146263, E79,300055; N57,146263, E79,924834; N56,920554, E79,590978; N56,980613, E79,300055).

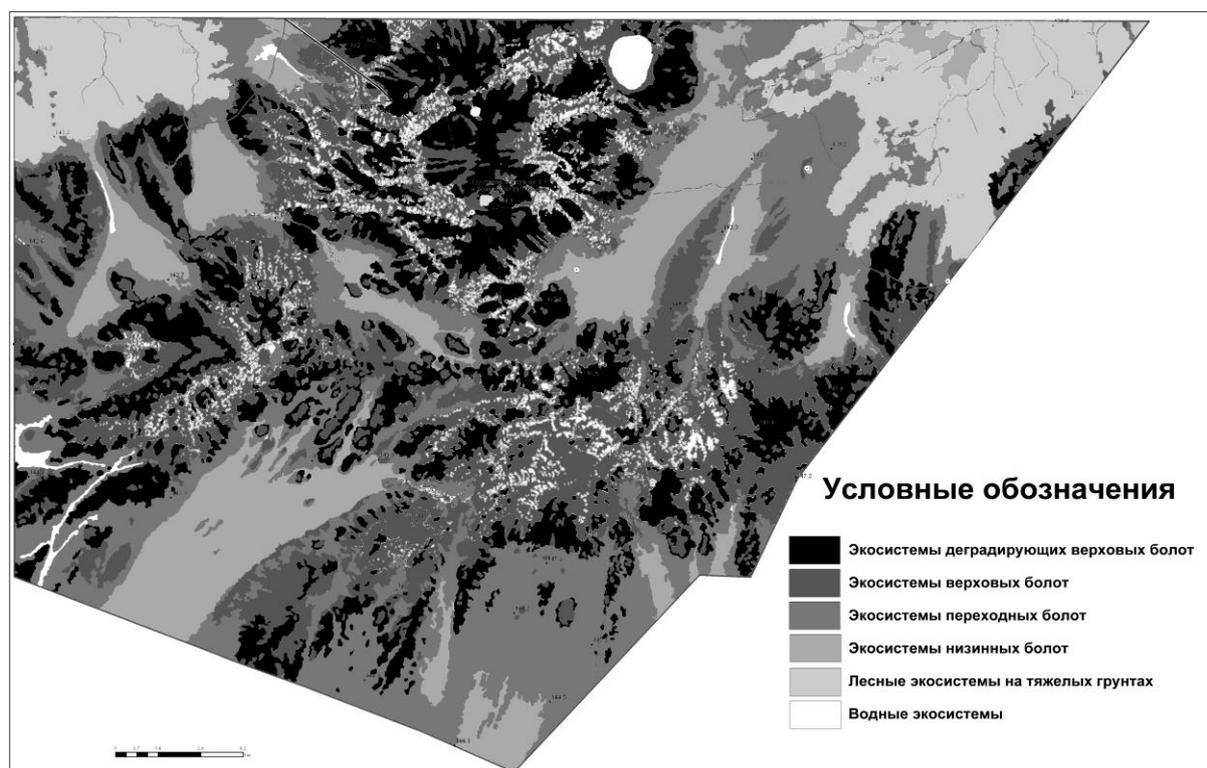


Рисунок 1. Участок исследования Большого Васюганского Болота

На оцениваемой территории площадью 62074 га территория верховых болот занимает более 50%, а перепад высот составляет 23.2 метра. Верховые болота представлены экосистемами рямовыми, грядово-мочажинными, грядово-мочажинно-озерковыми, лишайниковыми (деградирующими) и озерами. В результате деятельности лишайников происходит деградация экосистем верховых болот, деградирующие экосистемы занимают внушительную часть территории верховых болот (более 40%, см. таблицу 1).

Основным топологическим и функциональным элементом верховых экосистем является деятельный горизонт. Характерными признаками деятельного горизонта верховых болотных экосистем являются сферическая форма болотной поверхности и фрагментация ее на выпуклые элементы микрорельефа и понижения между ними. Образование отложений торфа происходит в понижениях микрорельефа и выпуклых формах по разным схемам. В понижениях торфообразования не происходит. На выпуклых формах образование торфа осуществляется в основном остатками *S. fuscum*. Кустарнички, сосна и пушица в образовании торфа не участвуют. Мертвые стволы сосны лесной карликовой формы, по данным наших исследований, выполняют функцию первичной опоры для сфагновых мхов на стадии зарождения выпуклой формы. Деструкция мертвых растительных остатков и образование из них торфа

осуществляется, преимущественно, микроорганизмами. Интенсивность деструкции остатков разных видов растений неодинакова, наибольшей устойчивостью к деструкции обладают сфагновые мхи.

Таблица 1. Суммарная площадь выделов типов экосистем участка исследований.

Название экосистемы	Площадь, га	Площадь, %
Экосистемы деградирующих верховых болот	13200	21,3
Экосистемы верховых болот	17812	28,8
Экосистемы переходных болот	14987	24,8
Экосистемы низинных болот	9375	15,1
Лесные экосистемы на тяжелых грунтах	5450	8
Водные экосистемы	1250	2
Всего	62074	100,0

1. Базанов В.А. Комплексные исследования деятельного горизонта элементарной экосистемы торфяного болота верхового типа (на примере болота в междуречье рек Чузик и Кенга, Западная Сибирь). Томск. 2015 г.

2. Базанов В.А. Топология и функционирование деградирующей элементарной рямовой экосистемы торфяного болота верхового типа (на примере участка Большого Васюганского Болота, Западная Сибирь). Томск. 2017 г.

3. Березин А.Е, Базанов В.А. Ландшафты Большого Васюганского болота. Торфяники Западной Сибири и цикл углерода: прошлое и настоящее. Томск. 2014 г.

4. Добровольская Т.Г. Анализ экологических факторов, ограничивающих деструкцию верхового торфа. Почвоведение. 2014 г. №3, 304-317с.

5. Чеботарев А.И. Гидрологический словарь. Ленинград. 1978г. 188 с.

6. Хохлов Ю.В. Гравитационное поле земли и его влияние на окружающую среду. 2005 г.

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ ФИЗИОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ В ОЦЕНКЕ СОСТОЯНИЯ ПЯТИХВОЙНЫХ СОСЕН В УСЛОВИЯХ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

Бендер О.Г.

Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН (г. Томск)
obender65@mail.ru

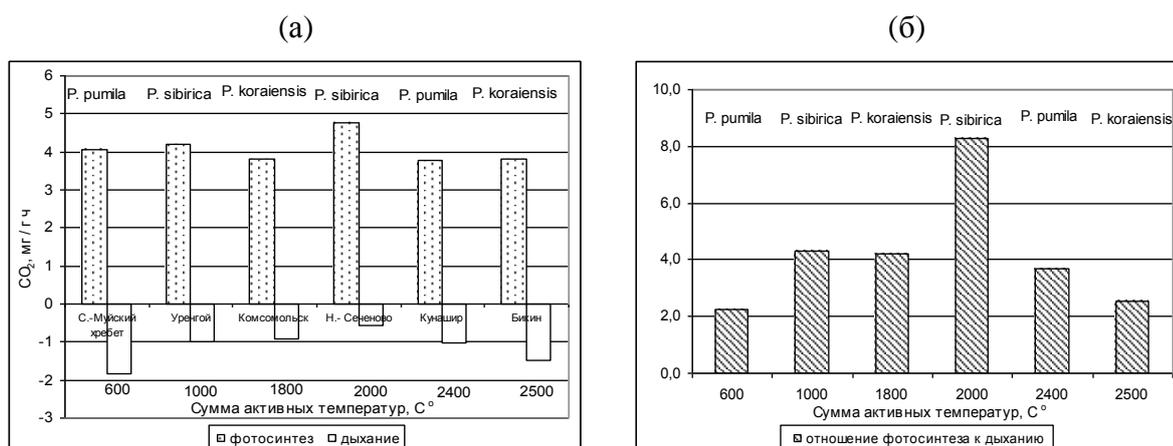
Условия существования растений влияют на активность протекания газообмена ассимиляционного аппарата и особенности метаболических процессов. Многочисленные эколого-физиологические исследования выявили быструю реакцию фотосинтеза и адаптивный характер изменения дыхания растений в соответствии с температурой их местообитания. Реакция растений на новые, непривычные для данного вида, условия может выражаться в модификационных изменениях метаболизма, в том числе, изменениях как интенсивности, так и регуляции дыхания. Соотношение процессов фотосинтеза и дыхания может уменьшаться в неблагоприятных условиях из-за снижения интенсивности фотосинтеза или увеличения активности дыхания. Цель настоящего исследования состояла в выявлении особенностей газообмена растений из различных климатических районов в одинаковых условиях юга Томской области.

В начале августа измеряли интенсивность видимого фотосинтеза и темнового дыхания двухлетней хвои кедров сибирского (*P. sibirica*), кедров корейского (*P. koraiensis*) и кедрового стланика (*P. pumila*). По два экотипа каждого вида были выращены из семян на юге Томской области на научном стационаре "Кедр". В момент наблюдений возраст объектов исследования составлял 10-15 лет. Семена кедров сибирского были собраны в Томской области (с. Нижне-Сеченово, местный экотип) и на северной границе произрастания (г. Уренгой, северный экотип), кедрового стланика на Северо-Муйском хребте (западный горный экотип из континентального климата) и острове Кунашир (восточный островной экотип из океанического климата), кедров корейского на Дальнем Востоке в окрестностях г. Комсомольска (северный экотип) и поблизости от г. Бикин (южный экотип). В каждом экотипе было исследовано по три дерева.

Анализ полученных данных показал, что самая высокая интенсивность фотосинтеза наблюдалась у кедров сибирского местного происхождения – 4,8 мг СО₂/г ч, самая низкая у двух экотипов кедров корейского и островного экотипа кедрового стланика – 3,8 мг СО₂/г ч. Диапазон различий между крайними значениями фотосинтеза составлял 21%. Величина темнового дыхания была максимальной у горного экотипа кедрового стланика – 1,9 мг СО₂/г ч, минимальной у кедров сибирского местного экотипа – 0,5 мг СО₂/г ч (рис. 1). Различия максимальных и минимальных величин дыхания составили 67%.

Мы полагаем, что различные величины газообмена хвои связаны с особенностями экологических условий естественных мест произрастания изучаемых видов и главным фактором, влияющим на физиологические процессы, выступает сумма активных температур (САТ). На рисунке, где точкой оптимума является местный экотип кедров сибирского из Н.-Сеченово с САТ 2000 С^о видно, что местный экотип, являясь наиболее адаптированным к климатическим условиям юга Томской области, имеет высокие показатели положительного газообмена. Слева от точки оптимума располагаются виды, в местообитаниях которых САТ меньше, чем 2000 С^о, и чем ниже САТ, тем выше значения дыхания. При этом интенсивность фотосинтеза между видами различается незначительно. По нашим данным (неопубликованные данные) интенсивность фотосинтеза кедров сибирского на широте г. Салехарда составляла 2,4–3,0 мг СО₂/г ч, что достоверно ниже, чем при выращивании северного экотипа на юге. Известно, что растения обитающие при пониженных температурах в горах и на севере дышат сильнее, т.к. у таких растений возникает необходимость дополнительных энергетических затрат на адаптационные процессы и репарацию. Сохранение повышенного дыхания объектов исследования при выращивании на юге Томской области свидетельствует о ге-

нетической закрепленности этого признака, а повышенные по сравнению с природой значения фотосинтеза о большей лабильности этого показателя.



Ри-
су-
нок
1.
Ин-
тен-
сив-
нос-
ть
га-
зо-
об-
ме-

на (а) и соотношение фотосинтеза и дыхания (б) у различных экотипов пятихвойных сосен.

Справа от точки оптимума находятся виды, в местах обитания которых САТ выше, чем 2000 С°, поэтому при выращивании на юге Томской области, в менее обеспеченном теплом районе, они испытывают некоторый стресс от дефицита тепла. Из литературных источников известно, что растения из южных широт дышат менее интенсивно, чем растения из умеренных широт. По-видимому, увеличенное дыхание хвои у видов из теплых мест обитания при выращивании в более северных широтах имеет фенотипическую природу.

Таким образом, найдена специфичность отклика растений на изменение условий обеспеченности теплом через изменение газообменных процессов: фотосинтеза и дыхания. Многочисленные опыты с географическими культурами видов и климатических экотипов хвойных растений показали, что в абсолютном большинстве случаев максимальную продуктивность имеют местные виды и экотипы. Приведенные выше результаты показывают главную причину наблюдаемой изменчивости. В пункте испытания максимальный положительный баланс фотосинтеза и дыхания показывает местный экотип местного вида. С увеличением и уменьшением суммы активных температур в местах происхождения испытываемых популяций снижается интенсивность фотосинтеза и увеличивается активность дыхания. Увеличение активности дыхания вносит существенно больший вклад по сравнению со снижением интенсивности фотосинтеза в изменение баланса этих двух энергетических процессов. При этом разные виды и разные экотипы этих видов образуют непрерывный ряд изменчивости, демонстрируя принципиально единые принципы адаптивной эколого-географической дифференциации на внутри- и межвидовом уровне. Причиной этого является адаптивная конвергенция климатических экотипов каждого вида через генетически обусловленную оптимизацию энергетических процессов.

Работа выполнена при поддержке проекта РФФ №18-16-00058.

ДИНАМИКА ТАКСАЦИОННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ДРЕВОСТОЕВ ПИХТЫ СИБИРСКОЙ, ПОВРЕЖДЕННЫХ В ХОДЕ ИНВАЗИИ УССУРИЙСКОГО ПОЛИГРАФА В ТОМСКОЙ ОБЛАСТИ

Бисирова Э.М.

Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН (г. Томск)
Всероссийский центр карантина растений (Томский филиал)
bissirovaem@mail.ru

Современные процессы деградации пихтовых лесов Западной Сибири, вызванные инвазией уссурийского полиграфа *Polygraphus proximus* Bland. – короеда дальневосточного происхождения, привели к серьезным экологическим последствиям [3]. На сегодняшний день он является одним из наиболее опасных видов стволовых вредителей пихты сибирской. Известно, что наиболее ранние случаи гибели деревьев пихты от полиграфа в Томской области датируются 2000 г. [2]. Начиная с 2010 г. на юге области лесопатологами Томского центра защиты леса отмечалось сильное усыхание пихты [4].

Изучение динамических особенностей таксационных показателей древостоев, поврежденных полиграфом проводили на постоянных пробных площадях (ПП), заложенных в 2012 г. на юге Томской области в пределах Ларинского ландшафтного заказника (ПП 1-12, 2-12, 3-12, 4-12), Заварзинской лесной дачи (ПП 6-12) и на территории Межениновского урочища (ПП 5-12). На каждой ПП проводился сплошной пересчет деревьев по стандартной методике лесоводственных исследований в 2012 г., затем в 2018 г.

Уже на момент закладки ПП 1-12 доля усохшей и усыхающей пихты в древостое составляла 99,8% по запасу. За семилетний период наблюдений отмечалось лишь активное образование валежа. До момента деструктивных проявлений данный участок леса был высокополнотным, с преобладанием пихты в составе древостоя (табл. 1), а к 2018 г. общий запас стволовой древесины снизился до 82 м³/га, густота до 65 деревьев на га, сформировалась редина полнотой 0,15 и формулой единичных деревьев 5К5Е+С ед.П. По факту, сохранилось только 5 деревьев пихты на ПП (25 шт./га) со средним диаметром 11,0±0,7 см и высотой 8,3±0,6 м.

Таблица 1. Таксационная характеристика древостоев пихты на пробных площадях

№ ПП	Состав древостоя	D ср., см	H ср., м	A ср., лет	Пт	Запас П, м ³ /га	Общий запас, м ³ /га
1-12	8П1К1Е+С	28,6	24,1	94	1,1	377	493
2-12	6ПЗК1Е	18,6	17,6	57	0,9	240	385
3-12	5ЕЗП ₁ 1П ₂ 1К+С	П ₁ 30,5	22,7	95	1,2	165	502
		П ₂ 13,3	13,6	55		37	
4-12	6П ₁ 1П ₂ 2К1Е+Ос	П ₁ 30,2	26,5	97	1,0	279	480
		П ₂ 12,7	13,3	47		39	
5-12	10П+Е едК едОс едБ	27,9	24,7	58	1,0	335	350
6-12	5ПЗЕ2К	27,9	20,1	70	1,2	266	502

Древостой на ПП 2-12 также претерпел структурные изменения в результате деятельности уссурийского полиграфа. За период активного влияния инвазионного короеда на древостой снизилась его полнота, которая на 2018 г. составила 0,74, а запас сырораствующей древесины – 319 м³/га. Густота уменьшилась на 46,9% и составила 408 шт./га. Гибель деревьев пихты привела к изменению породного состава, который характеризуется формулой 5К4П1Е. За семилетний период прирост среднего диаметра у пихты составил всего 2 см (D ср.=20,5±1,2).

В древостоях с двумя возрастными поколениями (ПП 3-12 и ПП 4-12) из состава насаждений выпали почти все особи младшего возраста. В ельнике на ПП 3-12 состав древо-

стоя на 2018 г. характеризуется формулой 6Е2П1К1С ед.П. Полнота снизилась до 0,53, а запас сырораствующей древесины упал на 35%, густота снизилась на 41% и составила 225 шт./га. Средний диаметр двух возрастных поколений пихты значительно не изменился и составил $33,9 \pm 0,6$ см для пихты старшего возраста и $14,8 \pm 1,4$ см для пихты младшего возраста. Пихтовый древостой на ПП 4-12 к 2018 г. сменился редкостойным кедровником с полнотой 0,35 и формулой леса 5К3Е2П+П. Запас пихты по данным повторного перечета на этом участке леса составляет $53,7$ м³/га, а совокупный запас сырораствующей древесины – 260 м³/га, густота – 180 шт./га. Средний диаметр пихты к 2018 г. составил $32,6 \pm 4,9$ см и $13,8 \pm 1,1$ см соответственно.

В пихтаче Межениновского урочища на ПП 5-12 также произошло снижение доли пихты в составе древостоя и к 2018 г. древостой характеризуется следующей формулой леса: 9П1Е+К ед. Б, Ос. Полнота снизилась вдвое, и составила 0,52. Запас пихты уменьшился на 132 м³/га, густота древостоя на 2018 г. составила 248 шт./га, в том числе пихты – 230 шт./га. Средний диаметр увеличился на 1,2 см и составил $29,1 \pm 1,1$ см.

Сильная деградация пихты на территории Заварзинской лесной дачи на ПП 6-12 привела к трансформации породного состава, формированию на данном участке массива елового древостоя с формулой леса 5Е3П2К. Полнота снизилась до 0,75, объем сырораствующей древесины до 319 м³/га, в том числе пихты до 89 м³/га. Средний диаметр пихты на момент повторного исследования составил $24,7 \pm 2,8$ см.

В целом, во всех исследованных древостоях выявлены изменения породного состава с уменьшением доли пихты в результате патологического отпада от воздействия уссурийского полиграфа, что согласуется с имеющимися данными для древостоев Калтайского заказника [1]. В зависимости от степени поврежденности пихтового элемента леса уссурийским полиграфом снижаются такие таксационные показатели как густота и полнота древостоя, вплоть до образования редин, уменьшается продуктивность.

1. Дебков Н.М. Закономерности изменения структуры пихтовых лесов, поврежденных в результате инвазии уссурийского полиграфа // Лесотехнический журнал. 2018. Т. 8. № 1 (29). С. 13-22.

2. Демидко Д.А. Датировка инвазии полиграфа уссурийского *Polygraphus proximus* Blandford (Coleoptera: Curculionidae, Scolytinae) на территорию Томской области // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2014. Вып. 207. С. 225–234.

3. Кривец С.А., Бисирова Э.М., Керчев И.А., Пац Е.Н., Чернова Н.Е. Трансформация таёжных экосистем в очаге инвазии полиграфа уссурийского *Polygraphus proximus* Blandf. (Coleoptera, Curculionidae: Scolytinae) в Западной Сибири // Российский журнал биологических инвазий. 2015а. Т. 8. № 1. С. 41-63.

4. Кривец С.А., Керчев И.А., Кизеев Ю.М., Кожурин М.А., Козак Р.Г., Филимонов М.Н., Чемоданов А.В., Чугин В.С. Уссурийский полиграф *Polygraphus proximus* Blandf. (Coleoptera, Scolytidae) в пихтовых лесах Томской области // Мат. Всеросс. конф. с междунар. уч. “Болезни и вредители в лесах России: XXI век” и V ежегодных Чтений памяти О.А. Катаева. Екатеринбург, 20–24 сентября 2011 г. Красноярск: ИЛ СО РАН, 2011. С. 53–55.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ГИДРОЛОГИЧЕСКОГО РЕЖИМА ОЛИГОТРОФНОГО БОЛОТА В РАМКАХ МОДЕЛИ ДЕЯТЕЛЬНОГО СЛОЯ СУШИ

Богомолов В.Ю.^{1,2}, Дюкарев Е.^{1,3}, Степаненко В.М.^{2,4}, Володин Е.М.⁵

¹Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН (г. Томск)

²Научно-исследовательский вычислительный центр МГУ имени М.В.Ломоносова (г. Москва)

³Югорский государственный университет (г. Ханты-Мансийск)

⁴Географический факультет МГУ имени М.В.Ломоносова (г. Москва)

⁵Институт вычислительной математики РАН (г. Москва)

bogomolov@scert.ru

Болотные экосистемы играют значительную роль в глобальном круговороте углерода, являясь источниками и стоками парниковых газов. Интенсивность потоков парниковых газов управляется гидрологическим и термическим режимом торфяной залежи. Повышение приземной температуры воздуха и снижение уровня вод вызывает иссушение торфа, повышение температуры и аэрируемости, что способствует росту эмиссии парниковых газов. Температурный режим почв является важнейшим фактором управляющим биохимическими процессами в торфяной залежи. Полученные данные послужат материалом для калибровки и верификации моделей тепло-массопереноса в почвогрунтах, позволят количественно оценить тепловое влияние мелиорации и пожаров на болотные экосистемы, послужат основой для реконструкции климата голоцена на территории Западной Сибири.

Мониторинг температуры олиготрофных болотных почв, в период с августа 2014 года по сентябрь 2018 г. позволил исследовать воздействие снижения уровня болотных вод на температурный режим олиготрофных болот. Наблюдательные площадки расположены на территории геофизического стационара «Васюганье» (56°58'с.ш. 82°36'в.д.) и включали низкий рям и рослый рям, на нативном Бакчарском болотном массиве;

При сравнительном анализе данных площадок, выявлено, что торфяные почвы осушенного рослого рья холоднее почв низкого рья на 2-3 °С в среднем по всему почвенному профилю (Киселев и др., 2019). Рослый рям незначительно холоднее низкого рья. В летний период на глубинах от 160 до 120 см разница температур составляет 0 -1°С, в слое 120-240 см 0 +2°С. В зимний период на глубинах 60-240°С разница температур 0-1°С, за исключением зимы 2016/2017 гг., когда разница составляла около -2°С по всей глубине.

Для моделирования температурного режима минеральных почв и болотных экосистем была использованная изменённая модель деятельного слоя. По состоянию на текущий момент, в модели деятельного слоя ИВМ РАН суша подразделяется на 5 типов поверхности – растительность, открытая почва, водоемы, снег и слой перехваченной влаги. В почвенном блоке описываются изменение профилей температуры, удельного содержания жидкой воды, льда и водяного пара под влиянием форсинга со стороны величин температуры и влажности приземного воздуха, потока влаги в почву и влагозапаса в снежном покрове *S*. Изменение профилей температуры и влажности в почве описывается на основе уравнения теплообмена с учетом перекрестных эффектов по схеме, предложенной Лыкосовым и Палагиным (Лыкосов, Палагин, 1980).

Результаты расчетов температуры почвы по модели деятельного слоя ИФМ РАН показали, что модель хорошо воспроизводит суточный и годовой ход температуры минеральной почвы на глубинах до 120 см. В глубинных слоях амплитуда годового хода и полученные в результате модельных расчетов превышает наблюдаемые значения в два раза. Однако, средний модуль ошибки расчета температуры почвы не превышает 1.5 °С. Для торфяной почвы насыщенной водой требуется корректировка теплофизических характеристик почвы, после которой средний модуль ошибки расчета снижается с 5 °С до 2.5 °С.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта №18-05-00306.

1. Киселев М.В., Дюкарев Е.А., Воропай Н.Н. Сезонно-мерзлый слой болот южно-таёжной зоны Западной Сибири // Криосфера Земли, 2019, т. XXIII, № 4, с. 3–15.
2. Лыкосов В.Н. Палагин Э.Г. Метод и пример расчета переноса тепла и влаги в промерзающей почве при наличии снежного покрова. М.: Тр. ГГИ, вып. 264. Гидрометеоздат. 1980.

АНАЛИЗ ОТКЛИКОВ ХВОЙНЫХ ДЕРЕВЬЕВ НА СТРЕССОВОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ АТМОСФЕРНЫХ ФАКТОРОВ

Бондаренко С.Л., Савчук Д.А.

Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН (г. Томск)

bond_sl@inbox.ru, savchuk@imces.ru

В работе рассматриваются вопросы: 1) плотность древесины хвойных деревьев восприимчивых к изменению уровня УФ-В радиации (УФ-В); 2) факторы влияющие на плотность годичных колец УФ-В восприимчивых деревьев; 3) выделение УФ-В сигнала из рядов максимальной плотности годичных колец (МХД) в период фоновых изменений УФ-В и климата; 4) функциональные связи между прямыми и косвенными эффектами УФ-В на крону и стволую древесину хвойных деревьев.

По данным 160 “raw”-хронологий различных видов, произрастающих на разных высотах за период 1875-1974 гг. формировались 8 выборок МХД деревьев восприимчивых и устойчивых к изменению УФ-В радиации.

В корреляционном анализе использовались данные среднемесячных измерений: 1) общего содержания озона (ОСО), начало 1932 г., Ароза (46°46', 9°40'); 2) температуры и количества осадков, начало ряда 1867г., Давос (46°47', 9°49') [1].

Ранее было показано, что данные ОСО могут использоваться для косвенной оценки биологических эффектов УФ-В на годичные кольца хвойных деревьев [2]. Высокая корреляция между исследуемыми параметрами наблюдается в течение вегетационного периода. Индекс УФВ-І вводится для описания дозы УФ-В в безразмерных единицах вариаций ОСО (также индекс). $УФВ-І(t) = -ОСО-І(t)$ [1].

По коэффициентам корреляции между МХД и УФВ-І в апреле (наиболее активный период атмосферного воздействия), деревья были разбиты на две группы. Группа 1 включала деревья, восприимчивые к УФ-В, группа 2 – устойчивые к изменению доз УФ-В и с сильным климатическим откликом (рис. 1).

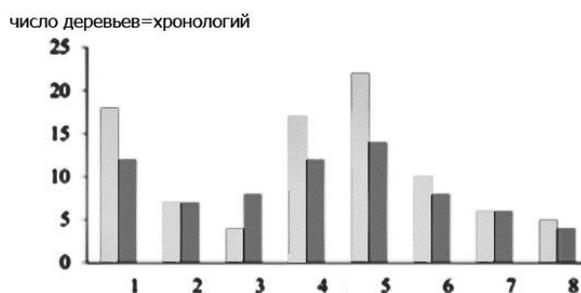


Рисунок 1. Кластерный анализ хронологий МХД (группа 1 - серые столбики, группа 2 - черные).

Изменения климата оценивались по данным индекса де Мартона (ИМ) по формуле: $ИМ = \Sigma O / (T+10)$, где ΣO – суммарное количество месячных осадков, $T(^{\circ}C)$ – среднемесячная температура воздуха. Если индекс сухости увеличивается, растение получает больше влаги из почвы или воздуха. Если индекс уменьшится, растение будет страдать от недостатка влаги. Чрезмерное испарение, повышение температуры и (или) недостаточное количество осадков влияют на рост деревьев. В таких условиях плотность древесных колец будет возрастать. Таким образом между временными рядами ИМ и МХД должна наблюдаться отрицательная корреляция.

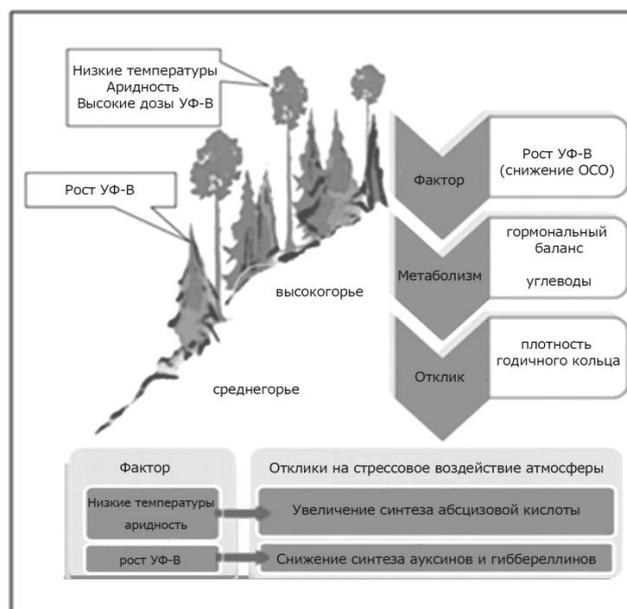


Рисунок 2. Функциональная модель влияния изменений УФ-В, температуры и осадков на отклики деревьев в горной местности.

Результаты статистического анализа показали, что у деревьев при стрессовом воздействии низких температур, засушливости и роста доз УФ-В включаются механизмы адаптации. О гормональной регуляции ксилогенеза хвойных и влиянии гормонов (ауксина) на деление и растяжение клетки упоминается в [3, 4]. В настоящее время вновь наблюдается интерес к данной тематике и проводятся исследования [1]. В современных работах показано, что рост (растяжение) древесных клеток и накопление питательных веществ в стенках клеток регулируются фитогормонами. Ауксины влияют на растяжимость клеточной стенки, тем самым они одновременно влияют на скорость деления и конечный радиальный размер клетки, тогда как гормон—антипод абсцизовая кислота (АБА) замедляет метаболизм клетки.

Экспериментальные и полевые исследования показали, что растения в горных условиях могут адаптироваться к стрессу за счет гормональной регуляции [5]. Гормоны считаются ответственными за центральный процесс в морфогенезе растений (расширение клеток). При низкой температуре и засухе концентрация абсцизовой кислоты (АБА) увеличивается. Скорость роста восприимчивых к изменениям УФ-В растений возрастает, в то время как скорость роста УФ-В устойчивых растений остается неизменной [5].

На рис. 2 представлена схема адаптации деревьев на стрессовое воздействие климата и УФ-В радиации. Итак, в условиях повышенных доз УФ-В тормозятся ростовые процессы деления и растяжения древесных клеток за счет: 1) снижения синтеза ауксина и гиббереллина; 2) увеличения выработки гормона «стресса» абсцизовой кислоты. Влияние УФ-В на формирование клеточной стенки в годичном кольце деревьев в горных районах можно оценить, используя методы моделирования. Функциональная модель может быть достаточно простой: фактор(ы) → скорость роста (синтез гормонов) → изменения плотности.

1. Bondarenko S.L., Savchuk, D.A., (2018). Response of conifers to UV-B and climate in mountain areas. // Global. J. Environ. Sci. Manage. –2018.– 4 (3) – P. 299–314.

2. Зуев В.В., Бондаренко С.Л. Исследование озоносферы методами дендрохронологии. Томск: Изд-во СОРАН, 2007. –168 с.

3. Меняйло Л.Н. Гормональная регуляция ксилогенеза хвойных. Новосибирск, 1987. 185 с.

4. Свидерская И.В. Гистометрический анализ закономерностей сезонного формирования древесины хвойных: дис. ..., Красноярск, 1999. –171 с.

5. Шомансуров С. Реакция растения на УФ свет и другие экологические факторы высокогорий Памира: автореферат дис. ... доктора биологических наук: 03.00.12, Москва, 1994. –46 с.

СТРУКТУРА ГИБРИДНОЙ ПОПУЛЯЦИИ КЕДРА СИБИРСКОГО И КЕДРОВОГО СТЛАНИКА В ЮЖНОМ ПРИБАЙКАЛЬЕ

Васильева Г.В.

Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН (г. Томск)
galina_biology@mail.ru

Среди хвойных, в том числе у сосен можно найти немало примеров естественной гибридизации. Кедр сибирский и кедровый стланик – два наиболее распространенных вида 5-хвойных сосен. Кедровый стланик (*Pinus pumila* (Pall.) Regel) благодаря своей механической пластичности и способности к предзимнему полеганию, распространился на обширной территории северо-восточной Азии. Кедр сибирский (*P. sibirica* Du Tour) имеет огромное экосистемное значение, формирует наиболее продуктивные биоценозы и служит источником ценного и питательного кедрового ореха. Ареал кедрового стланика частично перекрывается с ареалами трех 5-хвойных сосен, *P. sibirica*, *P. parviflora* и *P. koraiensis*, причем с первыми двумя имеются гибридные зоны [2, 4]. Естественные гибриды кедрового стланика и кедрового стланика обнаружены в разных частях области симпатрии в разном количестве. Гибриды в природе обычно имеют промежуточную морфологию и способны давать полноценные семена [2]. Недавно было обнаружено, что в северо-восточной части гибридной зоны имеются скрытые гибриды с габитусом кедрового стланика и мхДНК кедрового стланика [3]. Однако гибриды с морфологией стланика пока не обнаружены.

Хребет Хамар-Дабан окаймляет Байкал с юга и является юго-западным пределом распространения кедрового стланика, именно с него началось более пристальное изучение гибридизации кедрового стланика и кедрового стланика [1]. Возможность переопыления видов и гибридов, а также их способность к семеношению предполагают переход гибридизации в интрогрессию. Предположительно, интрогрессия может идти в обе стороны, но на сегодняшний день обнаружена только однонаправленная интрогрессия. Цель работы – анализ разнообразия гибридов и поиск бэккроссов.

В полевых условиях гибриды по морфологии были разделены на две группы: с промежуточной формой роста и синими шишками (признак кедрового стланика), крона которых формируется одним или несколькими мощными стволами-ветвями, часто искривленных. Вторая группа гибридов имела чашевидную форму роста, характерную для кедрового стланика, без главного ствола с кроной, сформированной крупными стволами-ветвями (5-20 шт.), и довольно крупные (крупнее, чем у обычного стланика) синие шишки. Их легко можно принять за кедровый стланик, если шишек нет, хотя обычно они были заметно выше (примерно на 20%) ближайших стланиковых зарослей.

Для проверки видовой принадлежности использовали маркеры хлоропластной (*trnV*) и митохондриальной (*NAD1 Intron2*) ДНК. Гибриды по маркерам разделились на три неравные группы, самая многочисленная та, у которой стланик был материнским растением, а кедр сибирский – отцовским. Вторая группа гибридов – результат опыления кедровых шишек пыльцой кедрового стланика. Был обнаружен всего один гибрид, который имел морфологию близкую к кедровому стланику и синие шишки, имеющий оба маркера, характерные для стланика, т.е. этот гибрид был бэккроссом на кедровый стланик или гибридом второго (последующих) поколений (табл 1). Анализ связи направления скрещиваний и формы роста гибридов показал, что гибриды с промежуточной формой роста чаще всего результат скрещивания *P. pumila* × *P. sibirica*, а гибриды с формой роста стланика могут образоваться либо от такого же скрещивания, либо от его реципрокного варианта (Точный тест Фишера 0.016, $p < 0.05$).

Таблица 1. Генотипы кедр сибирского (*sib*), кедрового стланика (*pum*) и их гибридов, определенные с помощью маркеров цитоплазматической ДНК

Морфология	Число деревьев	♀ <i>sib</i> × ♂ <i>sib</i>	♀ <i>sib</i> × ♂ <i>pum</i>	♀ <i>pum</i> × ♂ <i>sib</i>	♀ <i>pum</i> × ♂ <i>pum</i>
Кедр сибирский	57	57	0	0	0
Промежуточные гибриды	19	0	1	18	0
Гибриды похожие на стланик	18	0	7	10	1
Всего гибридов	37	0	8	28	1
Кедровый стланик	23	0	0	1	22

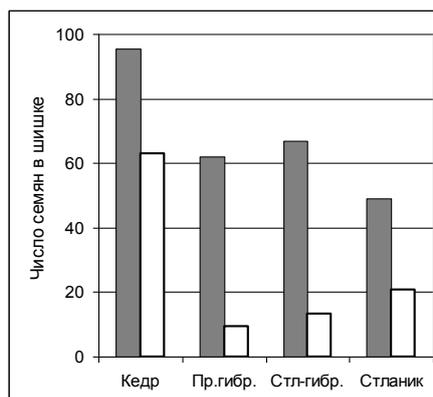


Рисунок 1. Число семян у кедр, промежуточных гибридов (Пр. гидр.), гибридов с морфологией стланика (Стл-гидр.) и стланика. Серым цветом показана потенциальная, а белым – реальная семенная продуктивность.

Анализ семенной продуктивности показал, что виды имели небольшие потери семян, тогда как гибриды характеризовались максимальными репродуктивными потерями на всех этапах после образования семени. Морфологические группы гибридов существенно различались по потерям полноценных семян на завершающих этапах развития семени. Особенно много у промежуточных гибридов образуется семян с пустой коррозионной полостью (13,5% от числа полных семян) и с недифференцированным зародышем (38% от числа семян с зародышем), что в 3 и в 2 раза больше, чем у стланико-подобных гибридов, соответственно. В итоге в среднем в шишке у промежуточных гибридов было всего 9 полноценных семян, у гибридов похожих на стланик – 13, что значительно меньше, чем у стланика и кедр, у которых было 21 и 63 полноценных семени в шишке, соответственно (рис. 1). Гибриды с формой роста стланика, все или их часть, могут быть представлены бэккроссами, в пользу этого говорит не только жизненная форма, но и лучшая по сравнению с промежуточными гибридами семенная продуктивность. Полученные результаты позволяют сделать вывод о переходе гибридизации в интрогрессию, которая, как можно предположить, приведет к скрытым гибридам, имеющим морфологию кедрового стланика.

1. Горошкевич С.Н. О возможности естественной гибридизации *Pinus sibirica* и *Pinus pumila* (Pinaceae) в Прибайкалье // Бот. журн. – 1999. – Т. 84, № 9. – С. 48-57.

2. Goroshkevich S.N., Popov A.G., Vasilieva G.V. Ecological and morphological studies in the hybrid zone between *Pinus sibirica* and *Pinus pumila* // Ann. For. Res. – 2008. – V. 51. – P. 43-52.

3. Petrova E.A., Zhuk E.A., Popov A.G., Bondar A.A., Belokon M.M., Goroshkevich S.N., Vasilyeva G.V. 2018. Asymmetric introgression between *Pinus sibirica* and *Pinus pumila* in the Aldan plateau (Eastern Siberia) // *Silvae Genetica*. – 2018. – V. 67. – P. 66-71.

4. Watano Y., Imazu M., Shimizu T. Spatial distribution of CpDNA and MtDNA haplotypes in a hybrid zone between *Pinus pumila* and *P. parviflora* var. *pentaphylla* (Pinaceae) // *J. Plant Res.* – 1996. – V. 109. – P. 403-408.

ШИРОТНАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ КАЧЕСТВА УРОЖАЯ КЕДРА СИБИРСКОГО

Велисевич С.Н.

Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН (г. Томск)
velisevich@imces.ru

Экологическая амплитуда произрастания кедра сибирского охватывает условия с различной тепло- и влагообеспеченностью, однако оптимальным для роста и репродукции является умеренно холодный и влажный климат средней тайги и средней части гор. В отличие от верхней и полярной границ, где решающую роль играет тепло, основным фактором, препятствующим продвижению на юг, является недостаточная влажность почвы. На юге равнинной западносибирской части ареала, совпадающей с переходной зоной между южной тайгой и лесостепью, популяции кедра почти не встречается на сухих водоразделах, а приурочены к долинам рек. В последние десятилетия в связи с потеплением климата на южной окраине ареала кедра отмечается ухудшение вегетативных и генеративных процессов (Велисевич, 2011). В северных регионах происходят противоположные процессы - границы распространения хвойных видов смещаются выше в горы и дальше на север (Шиятов, Мазепа, 2007). Северный предел распространения кедра сибирского практически совпадает с линией вечной мерзлоты и в условиях климатических изменений большой интерес представляет изучение репродуктивного потенциала этого вида. Целью нашей работы был анализ экологической изменчивости качества урожая кедра сибирского вдоль широтного профиля (Обской меридиан) на различных уровнях организации - шишка, семя, зародыш.

Материал для исследования собран в 3 популяциях в среднетаежной подзоне (долина р. Васюган), 3 популяциях в северно-таежной подзоне (правобережье Нижней Оби) и 3 популяциях в переходной зоне между южной тайгой и лесостепью (Южное Приобье). В каждой популяции с 20-30 деревьев было отобрано по 10 женских ветвей для реконструкции динамики заложения и созревания шишек. С каждого дерева собрано по 10-15 шишек для анализа структуры шишек и качества семян.

Анализ полученных результатов показал, что в средней тайге динамика заложения и созревания шишек относительно стабильна, амплитуда колебаний невелика, многолетние тренды практически нулевые (рис. 1).

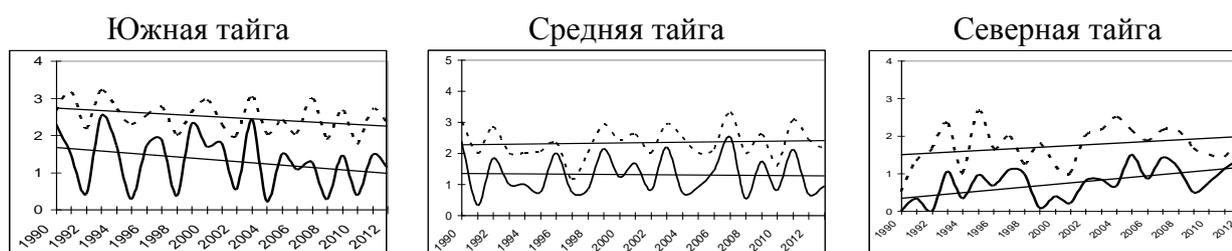


Рисунок 1. Динамика заложения и созревания шишек на женских побегах.

Среднемноголетнее количество заложившихся шишек - 2,33 шт. на побег, созревших - 1,31 шт., т.е. в конечном итоге вызревает 56% шишек от их первоначального количества. В южной тайге наблюдается выраженная 3-летняя цикличность и широкая амплитуда колебаний, особенно по созреванию шишек. Количество заложившихся шишек демонстрирует слабо выраженную отрицательную тенденцию, по созреванию наблюдается явный тренд на снижение. В среднем на побеге закладывается 2,49 шишек, созревает 1,32 шт. (53%). В северной тайге наблюдается выраженная 10-летняя цикличность по созреванию шишек. В пределах 10-летнего цикла амплитуда колебаний небольшая. Количество заложившихся и созревших шишек демонстрирует тенденцию к росту за рассматриваемый 22-летний период. В среднем на побеге закладывается 1,74 шишек, созревает 0,75 шт. (43%).

Анализ качества шишек и семян показал, что по числу фертильных чешуй, числу развитых семян, доле полных семян и длине зародыша дерева северной тайги существенно уступают более южным популяциям (табл. 1). Из-за сокращения доли фертильных чешуй и увеличения доли стерильных чешуй, особенно в медиальной (потенциально «фертильной») зоне, у этих деревьев происходило уменьшение исходного числа семяпочек, отвечающего за потенциально возможный выход семян, возрастали потери из-за неполной семификации. На южной окраине ареала увеличение числа недоразвитых семян обусловлено, по-видимому, фенологической несбалансированностью рецептивной фазы и массового лета пыльцы.

Таблица 1. Качество шишек и семян

Признак	Южная тайга	Средняя тайга	Северная тайга
Число фертильных чешуй, шт.	47,0±0,61 а*	37,7±1,08 б	23,6±1,77 в
Число стерильных чешуй, шт.	35,6±0,91 а	36,1±0,72 а	48,8±1,79 б
Исходное число семяпочек, шт.	94,0±1,21 а	75,5±2,17 б	75,3±2,52 б
Потери из-за неполной семификации, %	32,7±2,50 а	11,4±1,63 б	58,5±2,80 в
Число развитых семян, шт.	56,5±2,42 а	64,4±2,30 а	25,8±2,45 б
Число недоразвитых семян, шт.	6,7±1,25 а	2,7±0,73 б	6,3±1,90 а
Вес одного развитого семени, мг	0,21±0,01 а	0,23±0,01 а	0,24±0,01 а
Доля полных семян, %	87,0±3,65 а	89,2±1,82 а	73,5±3,77 б
Доля пустых семян, %	9,3±3,45 а	6,1±1,27 а	21,5±3,85 б
Длина зародыша, мм	5,4±0,15 а	6,4±0,07 б	4,0±0,14 в
Длина зародышевого ложа, мм	8,9±0,16 а	10,2±0,11 б	8,2±0,19 а

Примечание: среднее значение ± ошибка среднего; * достоверность различий (Шеффе тест).

Даже в случаях максимальной зрелости эндосперма не все семена оказываются жизнеспособными, а лучшей всхожестью отличаются те, в которых зародыш полностью занимает зародышевое ложе. Известно, что в высокогорье даже в годы с благоприятными погодными условиями у большинства семян зародыш занимает лишь около половины ложа, а всходы из таких семян появлялись позже – через год, после «доразвития» зародыша в течение следующего вегетационного сезона. По нашим данным, в средней тайге семена имели более длинное зародышевое ложе и более крупный зародыш. Формирование коротких зародышей у северных семян можно объяснить коротким вегетационным сезоном. Довольно мелкие зародыши у южных семян формируются, по-видимому, из-за сухости почвенного субстрата, поскольку период формирования зародыша приходится на самые жаркие летние месяцы.

Обобщение полученных результатов показывает, что наиболее оптимальными условиями для формирования стабильных и качественных урожаев характеризуется среднетаежная лесная зона. На южном пределе распространения кедра урожаи могут быть хорошими по количеству и по качеству, однако они нестабильны в погодичной динамике. На севере ареала в урожайные годы качество шишек достаточно высокое, что свидетельствует о потенциальных возможностях для успешного возобновления и продвижения этого вида за пределы современной северной границы ареала.

РЕЗУЛЬТАТЫ 30-ЛЕТНЕГО МОНИТОРИНГА ПОЛОВОЙ РЕПРОДУКЦИИ КЕДРА СИБИРСКОГО В СВЯЗИ С ДИНАМИКОЙ КЛИМАТА

Велисевич С.Н., Хуторной О.В., Попов А.В, Горошкевич С.Н.

Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН (г. Томск)
velisevich@imces.ru

Практически все дендроклиматологические работы подтверждают известный из физиологии и экологии растений закон лимитирующего фактора: на рост преимущественно влияет тот климатический ресурс (тепло или влага), который в данное время и в данном месте дальше от оптимума (Hackett-Pain et al., 2015 и др.). Относительно репродуктивных признаков в целом и плодоношения в частности, нет такой определенности выводов, какая есть в отношении роста (Roland et al., 2014; Zamorano et al., 2018 и др.). Существенное отличие роста и плодоношения состоит в длительности периодов, когда погода может радикально повлиять на их состояние. Большинство признаков, характеризующих рост, складываются под влиянием погодных условий на протяжении недель, месяцев и даже лет. Роль кратковременных воздействий на рост незначительна и проявляется только в маргинальных частях ареалов. Долговременные тенденции в изменении погодных условий, например, те, которые определяют запас влаги в почве, разумеется, важны не только для роста, но и для плодоношения (Pérez-Ramos et al., 2010, 2014; Nussbaumer et al., 2018 и др.). Однако очень часто решающее значение имеют и кратковременные погодные явления. Например, у кедрового полное отсутствие урожая шишек нередко бывает связано с негативным воздействием одного-единственного позднего заморозка (Горошкевич, 2011). На южной границе ареала, в зоне высоких, но нестабильных урожаев кедров отмечаемое потепление климата является дополнительным негативным фактором, способным повлиять на ход формирования репродуктивных органов у этого вида. В настоящей работе анализируются результаты 30-летнего мониторинга плодоношения кедрового в связи с динамикой климата.

Материал собран в 200-летнем Нижне-Сеченовском припоселковом кедровнике (Обь-Томское междуречье). Учет урожая и отбор шишек проводили ежегодно в период с 1990 по 2019 г. В разные годы использовали 50-60 деревьев. С каждого дерева брали образец 10–15 шишек, анализировали их структуру и качество семян. Информацию о погодных условиях использовали по данным станции Томск Росгидромета.

Анализ динамики урожаев (рис. 1) показал, что пиковые значения среднего числа шишек на дерево за 30 лет снизились почти в 2 раза. В 2019 году урожай составил более 700 шишек на дерево – это первый большой урожай за последние 12 лет. Природа тренда на снижение количества шишек, по нашим предположениям, двойственна. Во-первых, она может быть связана с возрастными изменениями деревьев в насаждении, которые есть при любой динамике климата. Но при негативной динамике они ускоряются. Во-вторых, тренд на снижение может быть связан с негативной (особенно для кедров на южной границе ареала) динамикой климата, которая влияет на насаждения в любом возрасте. Однако на стареющие и ослабленные деревья она должна влиять сильнее. Мы полагаем, что в данном случае происходит некая «цепная реакция»: климат ускоряет старение, старение делает деревья более восприимчивыми к климатическим изменениям. Однако высокий урожай 2019 года показывает, что климатические изменения – как фактор, более важен, т.е. «первичен».

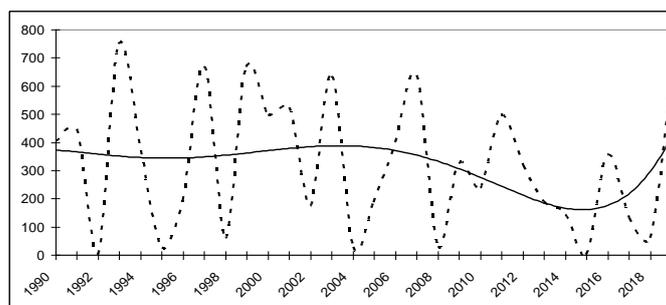


Рисунок 1. Динамика числа шишек на дерево: фактическая по годам (пунктир) и 5-летняя скользящая (сплошная).

Примерно половина погодичной изменчивости числа шишек на дерево определялась суммой эффективных температур, при которой в год опыления данной генерации случился последний весенний заморозок с температурой $-3,1$ $-4,5^{\circ}\text{C}$ ($r=-0,52$; достоверно при $p=0,05$). Анализ графического выражения этой связи (рис. 2) показал, что она еще более тесная, чем об этом можно судить по коэффициенту корреляции, но имеет не линейную, а экспоненциальную форму. Сильные заморозки, которые происходят при сумме эффективных температур более $+5^{\circ}\text{C}$, полностью или почти полностью уничтожают урожай шишек следующего года (на рисунке они выделены крупными маркерами). Напротив, такие же заморозки при меньшей сумме эффективных температур почти не влияют на него. Крупным черным маркером обозначены годы с заморозками, убившими урожай 1992, 1995, 1998, 2015, 2018 гг. Серым маркером обозначены 2004 и 2008 гг., когда погода весной была вполне благоприятной, однако число шишек было минимальным, при том, что их заложение было чуть выше среднего за последние 30 лет. Белым крупным маркером обозначен 2012 г. когда, несмотря на поздние весенние заморозки, итоговый урожай оказался средним. В первой половине ряда наблюдений последние губительные весенние заморозки случались в 10-х числа мая. Во второй половине ряда это событие стало происходить на 10 дней позже - в 20-х числах мая. Такие изменения представляются весьма интересными с точки зрения изменений климата и их влияния на плодоношение.

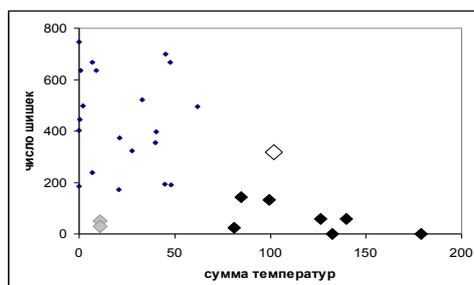


Рисунок 2. Связь между числом шишек на дереве и суммой температур, при которой наблюдался последний весенний заморозок с температурой $-3,0^{\circ}\text{C}$... $-4,5^{\circ}\text{C}$ в год опыления данной генерации шишек.

Урожай шишек связан и с погодой сентября. С увеличением средней температуры воздуха в этом месяце число шишек, которые созреют в следующем году, достоверно снижается ($r=-0,41$; достоверно при $p=0,05$). Во все годы с высоким урожаем шишек (более 670 шт. на дерево) средняя температура сентября была очень низкой (менее 7°C).

Таким образом, в год опыления довольно четко выражены два критических периода в развитии шишек: первая половина весны (до начала мейоза в микроспороцитах) и первая половина осени (сентябрь). Первый из них значительно важнее второго. В течение первого определяется – будет или не будет урожай семян в следующем году, в течение второго – каким он будет (хорошим или средним). Работа выполнена при поддержке РНФ, грант № 18-16-00058.

ЭМИССИЯ МЕТАНА С ПОВЕРХНОСТИ ВЕРХОВЫХ БОЛОТ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

Веретенникова Е.Э.^{1,2}, Дюкарев Е.А.^{1,3}

¹Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН (г. Томск)

²Сибирский государственный медицинский университет (г. Томск)

³Югорский государственный университет (г. Ханты-Мансийск)

lena2701@yandex.ru

Болота являются весомым источником эмиссии метана в атмосферу Земли, их вклад в поступление CH_4 в атмосферу оценивается внушительными цифрами - от 100 до 231 Тг CH_4 [1], что составляет 61-82% от всех природных источников метана [2]. Торфяники северных широт (50–70° с.ш.), где преобладающими являются олиготрофные болота, выделяют около 36 Тг CH_4 -С (или 48 Тг CH_4) в год [3], что составляет 11% общего потока CH_4 [4]. Болота Западной Сибири занимают 27% ее площади, при этом оценка суммарного потока метана имеет большой разброс значений (от 2,42 до 11,19 Тг CH_4 /год) [например, 5-7], что само по себе свидетельствует о проблематичности и недостаточности исследований эмиссионных потоков метана на этой территории.

В данной работе рассматриваются две контрастные болотные экосистемы - открытая осоково-сфагновая топь (открытая топь) и сосново-кустарничково-сфагновое болото (низкий рям), расположенные в зоне южной тайги Западной Сибири, являются элементами одного крупного болотного массива «Бакчарского». Болотный массив полностью покрывает локальный водораздел между реками Икса и Бакчар и в геоморфологическом плане относится к слабодренированной и сильнозаболоченной Васюганской равнине. Исследуемые болотные экосистемы относятся к верховому типу, но значительно отличаются между собой растительным покровом, строению торфяной залежи, гидротермическому режиму. Одной из задач исследования было сравнить эти две экосистемы по способности выделять метан в атмосферу в теплый период года. Второй задачей – показать влияние гидротермического режима болот в управлении потоками метана.

Режимные наблюдения за потоком метана и контролирующими его гидротермическими факторами осуществлялись в отдельные месяцы вегетационных периодов с 2012 по 2014 гг (в мае, июле и сентябре) в круглосуточном режиме с частотой отбора проб 8 раз в сутки (в 07, 10, 13, 16, 19, 22, 01, 04 часов по местному времени). Наблюдения за потоками метана мы стремились организовать в одни и те же даты: в 2012 году - с 20 по 25 мая, с 20 по 25 июля, с 5 по 10 сентября; в 2013 году – с 21 по 26 мая, с 18 по 23 июля, с 20 по 25 сентября; в 2014 – с 21 по 24 мая, с 21 по 26 июля, с 21 по 25 сентября. Скорость эмиссии CH_4 измеряли методом темновых статических камер [например, 8]. На каждой болотной экосистеме устанавливались по три непрозрачных цилиндрических камеры объемом 16,6 л, размещаемые на предварительно установленные основания площадью 590 см². Отбор проб воздуха из каждой камеры проводили с помощью пластикового шприца объемом 1 мл с трехкратной повторностью сразу после установки камеры на основание и через 15 (на открытой топи) и 30 мин (на низком ряме) после начала экспозиции. Для определения объемной концентрации CH_4 использовали газовый хроматограф “Shimadzu GC-14B”. Регистрация потоков метана сопровождалась дополнительным измерением факторов внешней среды: температуры воздуха и торфяной залежи, атмосферного давления и уровня болотных вод. Измерения температуры торфяной залежи и воздуха проводились с использованием атмосферно-почвенного измерительного комплекса (АПИК).

Проведенные исследования показали, что потоки метана характеризуются сильной изменчивостью как в пространстве, так и во времени. Эмиссия метана с поверхности открытой топи была всегда выше (2,66±4,58 мг CH_4 м⁻²час⁻¹), чем с поверхности низкого ряма (0,57±0,69 мг CH_4 м⁻²час⁻¹). Сезонная динамика потоков метана на обеих болотных экосистемах характеризуется июльским максимумом, наиболее ярко представлена на открытой топи.

На низком рьяе сезонная эмиссия имеет более сглаженный ход. Потоки в июле хоть и превышали потоки в мае и сентябре в 1,5 раза, но эта разница была статистически недостоверной.

Выявленный сезонный тренд эмиссии на обеих экосистемах находился в тесной взаимосвязи с температурой торфяной залежи, но не имеет связи с уровнем болотных вод. На открытой топи среднесуточная изменчивость эмиссии CH_4 в течение теплого периода на 50 % объясняется влиянием температуры слоя на глубине 10 см, расположенного ниже уровня болотных вод, что может свидетельствовать о важности продукции метана в более глубоких анаэробных слоях торфяной залежи. На низком рьяе сезонный тренд среднесуточной эмиссии метана на 39% определяется температурой слоя на глубине 40 см, который соответствует среднему уровню болотных вод и, как мы полагаем, может представлять границу с переменными окислительно-восстановительными условиями.

Мы получили существенные различия в сезонных суммарных потоках метана с исследуемых экосистем. Открытая топь за исследуемый период (площадью 463,48 км²) способна выделить от 2595,49 до 3754,19 т CH_4 , в то время как низкий рям (площадью 658,12 км²) – от 460,68 до 855,56 т CH_4 . Поэтому необходимо проводить наблюдения за эмиссией метана на разных типах болотных экосистем, при этом необходимо учитывать изменение климатических характеристик для лучшего прогнозирования отклика эмиссии метана.

1. IPCC (2007). Solomon, S., Dahe, Q., Martin, M., Melinda, M., Kristen, A., Melinda M.B., T., Henry, L. M., and Zhenlin, C.: Climate change 2007: The physical science basis: Working group I contribution to the fourth assessment report of the IPCC, Cambridge University Press, 007.

2. IPCC (2013). Stocker T. F., Qin D., Plattner G.-K., M. Tignor, S. K. Allen, J. Boschung, P. M. Midgley (Eds.), Climate change 2013: The physical science basis. Working group I contribution to the fifth assessment report of the IPCC, Cambridge University Press. pp. 1535.

3. Zhuang, Q. L., Melillo, J. M., Sarofim, M. C., et al. 2006. CO₂ and CH₄ exchanges between land ecosystems and the atmosphere in northern high latitudes over the 21st century. *Geophysical Research Letter*, 33, 1–5.

4. Wuebbles, D. J., Hayhoe, K. 2002. Atmospheric methane and global change. *Earth-Science Reviews*, 57(3), 177–210.

5. Glagolev, M., Kleptsova, I., Filippov, I., et al., 2011. Regional methane emission from West Siberia mire landscapes. *Environ. Res. Lett.*, 6, 045214. doi: 10.1088/1748-9326/6/4/045214.

6. Bohn, T.J., Melton, J.R., Ito A., et al. 2015. WETCHIMP-WSL: intercomparison of wetland methane emissions models over West Siberia. *Biogeosciences Discussions* 15, (2), vol. 12, 1907-1973. doi: 10.5194/bgd-12-1907-2015.

7. Terentieva, I.E., Glagolev, M.V., Lapshina, E.D., et al. 2016. Mapping of West Siberian taiga wetland complexes using Landsat imagery: implications for methane emissions. *Biogeosciences*, 13(16), 4615-4626.

8. Pavelka, M., Acosta, M., Kiese, R., et al. 2018 Standardisation of chamber technique for CO₂, N₂O and CH₄ fluxes measurements from terrestrial ecosystems. *Int. Agrophys.*, 32, 569-587. doi: 10.1515/intag-2017-0045

ВЛИЯНИЕ ОСУШЕНИЯ НА СОДЕРЖАНИЕ ОРГАНИЧЕСКОГО УГЛЕРОДА В ВОДАХ ВЕРХОВОГО БОЛОТА (БАКЧАРСКОЕ БОЛОТО, ЗАПАДНАЯ СИБИРЬ)

Воистинова Е.С.

Сибирский научно-исследовательский институт сельского хозяйства и торфа – филиал Сибирского федерального научного центра агробιοтехнологий РАН (г. Томск)
elenavoistinova@yandex.ru

Болота являются одним из важнейших резервуаров углерода на планете [1]. Однако под влиянием внешних воздействий, таких как осушительная мелиорация, происходит деградация торфяной залежи и потеря углерода в виде потоков CO_2 , CH_4 , водорастворимых органических соединений. Поэтому особый интерес для изучения представляет вопрос влияния осушения на содержание органического углерода в болотных водах, как составляющей цикла органического углерода.

Исследования проводились на осушенном сосново-кустарничково-сфагновом верховом болоте в бассейне реки Гавриловка (левый приток реки Икса, бассейн Средней Оби). Мелиоративные работы на верховом болоте (часть Бакчарского болота) были начаты в 1983 году Томской машинно-мелиоративной станцией. Осушение осуществлялось сетью открытых каналов. Расстояние между осушительными каналами составляет 150-160 м, планируемая ширина 1-2 м, глубина до 1 м. В настоящее время осушенное болото не используется, отмечается снижение водопропускной способности каналов вследствие их зарастания и заторфовывания.

Методика исследований включала в себя отбор проб воды в соответствии с ГОСТ 31861-2012, ГОСТ 17.1.5.04-81. Для отбора проб воды с помощью торфяного бура создавалась скважина глубиной 1 м. Воды отбирались специально подготовленным пробоотборником с глубины 30-50 см с апреля по сентябрь в 2015-2018 гг. Определение $C_{\text{орг}}$ выполнялось в аккредитованном лабораторно-аналитическом центре СибНИИСХиТ - филиал СФНЦА РАН по Тюрину с фотометрическим окончанием (СТП 0493925-008-93). Наблюдения за режимом болотных вод проводились с помощью автономного дифференциального датчика давления (САМ, ИМКЭС СО РАН).

Гидрохимические исследования включали сравнение показателей химического состава вод осушенного болота ($\text{N}56^{\circ}53'25,8'' \text{E}82^{\circ}40'50,9''$) с аналогичным естественным участком Бакчарского болота ($\text{N}56^{\circ}58'24,3'' \text{E}82^{\circ}36'41,2''$) в бассейне реки Ключ – правого притока реки Бакчар. Для выявления факторов, определяющих содержание органического углерода в водах осушенного верхового болота использовался метод главных компонент (факторный анализ).

Анализ данных гидрохимических наблюдений показал, что воды осушенного верхового болота, как и естественного, пресные (сумма ионов не превышает 62 мг/л), кислые, обладают высокой цветностью, содержат в большом количестве органические вещества природного происхождения. Среднее содержание органического углерода в водах осушенного болота составляет 66,6 мг/л, что на 18,3 % выше, чем в водах естественного болота. Объяснить это можно более низким уровнем болотных вод, лучшими условиями аэрации торфяной залежи. Наблюдается отрицательная корреляционная зависимость между содержанием $C_{\text{орг}}$ и уровнем болотных вод ($R=-0,6$): при понижении уровней болотных вод увеличивается содержание $C_{\text{орг}}$. Так по данным за апрель - сентябрь 2015-2018 гг. на осушенном болоте был отмечен средний уровень болотных вод -27 см ниже средней поверхности болота, тогда как на естественном болоте -18 см. Амплитуда колебаний и на осушенном и на естественном болоте составила 34 см. Сезонная динамика в целом характеризуется синхронностью колебаний уровней болотных вод с естественным болотом.

За период наблюдений с 2015 по 2018 год концентрация $C_{\text{орг}}$ в водах осушенного верхового болота превышала в водах естественного болота на 1,4 – 51 %. Наиболее высокие концентрации $C_{\text{орг}}$ наблюдались в 2015 году. В 2016 году содержание уменьшилось и стало расти в 2017 и 2018 году.

Для выявления основных факторов, определяющих содержание органического углерода в водах осушенного верхового болота нами была построена общая факторная модель. Исходная таблица данных включала в себя показатели и характеристики водного и теплового режима осушенного болота, гидрометеорологические параметры исследуемой территории, концентрацию органического углерода в 2015-2018 гг.

Факторный анализ содержания органического углерода в водах осушенного верхового болота позволил выделить 3 основных фактора, которые на 84,06 % описывают изменчивость исходных данных в этот период. Первый фактор описывает 50,71 % суммарной дисперсии. Наибольшую отрицательную нагрузку на него имеют температура торфяной залежи (-0,97), сумма активных температур приземного слоя воздуха выше 10°C за предшествующие 30 дней до отбора проб (-0,95), температура воды (-0,94), сумма активных температур выше 10°C за 2 недели (-0,90), температура приземного слоя воздуха (-0,78), а положительную - уровень болотных вод (0,70). Сочетание этих параметров определяет скорость и интенсивность процессов минерализации растительных остатков и торфа на осушенном болоте. Рост температуры торфяной залежи, суммы активных температур приземного слоя воздуха выше 10°C вызывает увеличение содержания $C_{\text{орг}}$ в водах осушенного болота.

Второй фактор определяет 16,94% изменчивости системы. Параметром, имеющим наибольшую положительную нагрузку на второй фактор, являются количество атмосферных осадков в день отбора проб воды. Третий фактор описывает 16,41% общей изменчивости и отражает режим увлажнения исследуемой территории. Высокие отрицательные факторные нагрузки на третий фактор имеют количество атмосферных осадков за 2 недели (-0,71), количество атмосферных осадков за 30 дней (-0,69).

Факторная модель естественного верхового болота схожа с моделью осушенного болота. Три главных фактора обеспечивают 88,19 % суммарной дисперсии. Первый фактор описывает 58,86 % изменчивости исходных данных. Высокие факторные нагрузки имеют температура торфяной залежи (-0,98), температура воды (-0,97), сумма активных температур воздуха выше 10°C за предшествующие 30 дней (-0,96) и 2 недели (-0,91), уровень болотных вод (0,87). Однако факторная нагрузка, связанная с динамикой уровней болотных вод, имеет более высокие значения, что говорит о большем влиянии этого параметра на изменчивость концентраций органического углерода в водах естественного болота.

Поэтому можно сделать вывод, что осушительная мелиорация, проведенная в бассейне реки Гавриловка, вызывает увеличение содержания органического углерода в болотных водах в среднем на 18,3 % при сохранении общих закономерностей функционирования болотной экосистемы. Ведущими факторами, определяющими содержание $C_{\text{орг}}$ в водах осушенного болота, как и водах естественного, являются температура торфяной залежи, сумма активных температур приземного слоя воздуха за предшествующие 30 дней до отбора проб и уровень болотных вод.

Работа выполнена при финансовой поддержке проекта РФФИ 18-35-00376 мол_а.

1. Assessment on Peatlands, Biodiversity and Climate Change. Main Report. Parish F., Sirin A., Charman D., et al. (Eds) Global Environment Centre, Kuala Lumpur and Wetlands International Wageningen, 2008. 179 p.

ПОГОДНЫЕ И КЛИМАТИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ЛЕСНЫХ ПОЖАРОВ В ИРКУТСКОЙ ОБЛАСТИ

Вологжина С.Ж., Латышева И.В., Лощенко К.А., Латышев С.В.

Иркутский государственный университет (г. Иркутск)

svologzhina@gmail.com

Иркутская область характеризуется одними из самых высоких в России показателей лесистости (82,6%), с преобладанием таежных и подтаежных геосистем, негативное влияние на которые оказывают лесные пожары [1]. Не отрицая главенствующую роль антропогенного фактора в возникновении лесных пожаров, следует указать, что значительное влияние на скорость возгорания и распространение пожаров по территории Иркутской области оказывают погодные условия [2]. Среди климатических параметров высокого уровня пожарной опасности принято рассматривать количество атмосферных осадков в зимние месяцы, накопленные влагозапасы в почве, в теплый период – длительность бездождного периода, интенсивность аномалий средней суточной температуры и относительной влажности воздуха, а также увеличение средней скорости ветра и количества дней с грозой.

Современные тенденции изменений климата на территории Иркутской области в период с апреля по сентябрь, на который приходится максимум числа лесных пожаров в Иркутской области, характеризуются увеличением засушливости, что отражают долговременные изменения метеорологических параметров на разных уровнях тропосферы. Таким образом, наблюдаемые изменения климата определяют высокую вероятность лесных пожаров, что подтверждается статистическими данными за последнее десятилетие. Высокий уровень пожарной опасности в Иркутской области приходится на теплый период 2014, 2015, 2017 и 2019 гг.

Особо следует выделить летние месяцы 2019 года, когда в северных районах Иркутской области по условиям погоды отмечался чрезвычайный класс пожарной опасности. Анализ ежедневных данных ФБУ «Авиалесоохрана» показал, что непростые условия в регионе наблюдались в середине июня 2019 г. В этот период площадь, пройденная лесными пожарами в Иркутской области, достигала 70% общей площади лесных пожаров, наблюдаемых на территории России (рис. 1). Еще более сложная ситуация складывалась в третьей декаде июля, когда вклад Иркутской области оказался максимальным по площади лесных пожаров (83%) и по числу очагов возгораний (59%).



Рисунок 1. Процентный вклад Иркутской области в показатели лесных пожаров на территории России в целом в летние месяцы 2019 г. по данным ФБУ «Авиалесоохрана».

Анализ метеорологических данных показал, что в июле 2019 г. на севере Иркутской области повышение средних месячных температур и отрицательные аномалии атмосферных

осадков по отношению к климатической норме достигали рекордно высоких значений. Обращает внимание, что в крайних северных районах Иркутской области увеличению количества лесных пожаров в июле 2019 г. предшествовал довольно продолжительный, начиная с 2011 г., засушливый период. Причиной продолжительной тенденции увеличения засушливости в летние месяцы были циркуляционные условия. Они были выражены в увеличении повторяемости процессов блокирования на фоне адвективно-динамических факторов роста давления, которые наиболее ярко отражены в ситуации с лесными пожарами летом 2019 года. В этот период северные районы Сибири, наряду с территорией Аляски и Гренландии, оказались под влиянием продолжительных волн тепла, которые определили стационарные теплых высоких приполярных антициклонов (рис. 2).

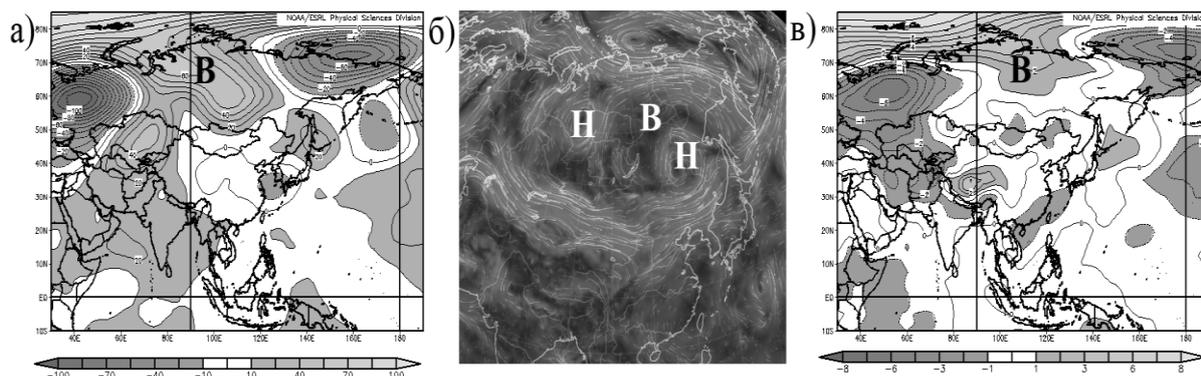


Рисунок 2. Аномалии геопотенциальных высот поверхности 500 гПа (а) и приземного давления (в) в июле 2019 г. по данным Реанализа NCEP/NCAR, поле ветра на АТ-500 гПа 24.07.2019 г. по данным модели GFS (б).

Таким образом, климатические и циркуляционные условия Иркутской области в теплый период года сопровождаются увеличением засушливости и ростом количества очагов возгораний и площади лесных пожаров. Среди крупномасштабных факторов можно выделить увеличение вероятности процессов блокирования при общем усилении меридиональности процессов на территории Северного полушария в целом. Поэтому в качестве прогностических предикторов лесных пожаров в Иркутской области следует рассматривать аномалии полей приземного давления и геопотенциала в средней тропосфере, отражающих вклад процессов блокирования в возникновение и распространение лесных пожаров.

1. Евдокименко М.Д. Факторы горимости байкальских лесов / География и природные ресурсы, 2011. – № 3. – С. 51-57.
2. Фуряев В.В. Роль пожаров в процессе лесообразования. – Новосибирск: Наука, 1996. – 253 с.

ОЦЕНКА НАКОПЛЕНИЯ МЕТАЛЛОВ В СИСТЕМЕ ПОЧВА - РАСТЕНИЯ ТОРГАШИНСКОГО ХРЕБТА КРАСНОЯРСКОГО РЕГИОНА

Воробьева Е.Н.¹, Спицына Т.П.¹, Шапченкова О.А.², Любимова Я.О.¹

¹ Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнева (г. Красноярск)

² Институт леса им. В.Н. Сукачева (г. Красноярск)
liza-vorobeva-99@mail.ru

В настоящее время развитие промышленной индустрии в черте Красноярска способствует накоплению металлов в почве как в самом городе, так и за его пределами. Все это приводит к деградации физико-химических свойств почв.

Торгашинский хребет является одним из красивейших и часто посещаемых мест пригорода Красноярска, который находится на юго-западе города. Ряд скал протягивается более чем на 15 км. В 2019 г. этому объекту присвоили статус особо охраняемой природной территории – памятника природы регионального значения.

Целью данной работы было определение коэффициента биологического поглощения металлов в системе почва – растение (на примере прострела раскрытого *Pulsatilla patens* (L.) Mill) Торгашинского хребта. Для этого были поставлены следующие задачи:

– закладка 11 пробных площадей на Торгашинском хребте, отбор образцов почвы согласно ГОСТ 17.4.4.02-84 [2] и отбор образцов растений прострела раскрытого (*Pulsatilla patens* (L.) Mill);

– определение концентрации металлов в почве и растениях методом атомно-абсорбционной спектроскопии [1];

– оценка биологического поглощения металлов [3, 4].

Для достижения цели исследования, в первую очередь, было выполнено аналитическое определение содержания металлов в почвенных и растительных образцах.

Коэффициент биологического поглощения (КБП) является важным при рассмотрении вопросов, связанных с биогенной миграцией химических элементов. КБП характеризует интенсивность поглощения организмом того или иного химического элемента и показывает, во сколько раз содержание элемента в растении больше или меньше, чем в конкретной почве.

Следующим этапом являлась оценка интенсивности биологического поглощения элементов фитомассой прострела раскрытого [3]:

$$A_x = l/n, \quad (1)$$

где l – содержание химического элемента в растении, n – содержание этого же элемента в почвах.

Коэффициент биологического поглощения позволяет косвенно судить о степени доступности элемента для растений и его поведении в системе «почва – растение». Избыточное накопление химических элементов вначале стимулирует жизнедеятельность растений и его продуктивность, а затем угнетает [4].

В результате проведенных исследований, был построен убывающий ряд по средним значениям коэффициента биологического поглощения металлов: Sr (0,667) > Zn (0,268) > Cu (0,123) > Cd (0,084) > Ni (0,036) > Mn (0,031) > Fe (0,006) > Al (0,003).

При группировке химических элементов в рядах по интенсивности биологического поглощения [3] выяснилось, что среди элементов слабого накопления и среднего захвата преобладают Sr, Zn, Cu. Это объясняется тем, что железо, медь, алюминий, никель, цинк, кадмий, стронций, марганец только захватываются, а не накапливаются организмами. Остальные элементы имеют степень слабого (Cd, Ni, Mn) и очень слабого захвата (Fe и Al).

Таким образом, в результате проделанной работы, были определены коэффициенты биологического поглощения металлов, значения которых варьируются от наибольшего у Sr

(0,667) до наименьшего у Al (0,003). Выявлены элементы слабого накопления и среднего захвата, слабого и очень слабого захвата.

Результаты данных исследований могут сыграть большую роль в выборе способов охраны памятника природы от воздействия рекреационных нагрузок, загрязнения металлами и солями.

1. ПНД Ф 16.1:2:2.2.3.63-09 (М 03-07-2014). Методика измерений массовой доли ванадия, кадмия, кобальта, марганца, меди, мышьяка, никеля, ртути, свинца, хрома и цинка в пробах почв, грунтов и донных отложений методом атомно-абсорбционной спектроскопии с использованием атомно-абсорбционного спектрометра с электротермической. – М., 2014. – 4 с.

2. ГОСТ 17.4.4.02-84. Почвы. Методы отбора и подготовки проб для химического, бактериологического, гельминтологического анализа. М.: Изд-во стандартов, 1986. – 9 с.

3. Перельман, А.И., Геохимия / А.И. Перельман. – М.: Высшая школа, 1989. – 528 с.

4. Перельман, А.И., Геохимия ландшафта / А.И. Перельман, Н.С. Касимов. – М.: Астрель, 2000. – 762 с.

ОСОБЕННОСТИ ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМА ТОРФЯНЫХ ПОЧВ

Вяйзя А.А.¹, Киселев М.В.², Дюкарев Е.А.^{2,3}

¹ Томский государственный университет (г. Томск)

² Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН (г. Томск)

³ Югорский государственный университет (г. Ханты-Мансийск)

egor@imces.ru

Болота – уникальные природные ландшафты, участвующие в регулировании газового состава атмосферы, водного баланса биосферы, биологического разнообразия на Земле. Температура почвы является ключевым фактором, контролирующим многие биотические и абиотические процессы, протекающие в почвах (торфяных и минеральных): разложение и минерализацию органического вещества почв, эмиссию парниковых газов, выделение растворенного органического углерода; воздействует на рост наземной растительности (мхи, кустарники и др.) и формирование микроклимата.

В докладе представлены результаты сопоставительного анализа температурного режима торфяной и минеральной почв по данным автоматических измерителей. Исследования температурного режима торфяной почвы проводились на территории сосново-кустарничково-сфагнового болота на территории геофизического стационара «Васюганье» Института мониторинга климатических и экологических систем СО РАН. Данные о температуре тяжелосуглинистой почвы получены автоматическим измерителем, установленным на метеостанции Бакчар. Автономный измеритель профиля температуры (АИПТ) почвы предназначен для автоматической регистрации температуры почвы в заданное время, накопление данных измерений за длительный промежуток времени.

По данным измерений на метеостанции «Бакчар» средняя годовая температура воздуха за исследуемый период (2011-2017гг.) составляет 0,5°C, амплитуда годового хода – 38,2°C. На стационаре «Васюганье» среднегодовая температура воздуха составляет 0,8°C, амплитуда годового хода – 38,5°C.

Средние месячные характеристики температуры почвы в двух пунктах наблюдения приведены в таблице. Минимальные среднемесячные температуры почвы наблюдались синхронно на болоте и метеостанции до глубины 40 см. Максимальные месячные температуры на глубинах до 60 см, приходятся на июль. На больших глубинах годовые максимумы и минимумы температуры на болоте смещаются на 1-2 месяца по сравнению с метеостанцией.

Анализ разности температур между двумя пунктами наблюдений показал, что в поверхностном слое (до глубины 20 см) температура почвы на метеостанции выше, чем на болоте в течение всего года на 0,03–3,8°C. На глубинах 20–40 см, почва на болоте холоднее на 0,1–1,3°C с октября по март, а в теплое время года торфяная почва теплее минеральной на 0,1–6,7°C. Глубже 40 см чередование положительных и отрицательных разностей между болотом и метеостанцией в течение года сохраняется, однако величина разностей уменьшается с глубиной. Так, на глубине 120 см, в июле на болоте почва теплее минеральной на 6,1°C, а в ноябре – холоднее на 1,6°C. На глубине наибольшая в годовом ходе положительная разность температур (4,8°C) наблюдается в сентябре, а отрицательная – в апреле (–0,62°C).

В целом, торфяная почва имеет сглаженную динамику температуры по сравнению с минеральной. Годовая амплитуда температуры почвы на болоте, рассчитанная по среднемесячным значениям, меньше на 4 °C, чем на метеостанции участке (см. табл 1). Режимы промерзания исследуемых почв также существенно различаются. Глубина проникновения нулевой изотермы в минеральной почве достигает 45 см, а в торфяной – 28 см. Минимальная температура почвы на глубине 20 см составляет -5.1°C в минеральной и -2.7°C в торфяной почве. Скорость распространения границы мерзлого слоя и глубина его проникновения в торфяной почве значительно ниже, чем в минеральной почве.

Таблица 1. Годовой ход температуры по данным измерений в торфяной (болото) и минеральной (метеостанция) почве. Среднее за 2011-2017 гг.

Глубина	Болото					Метеостанция				
	5	20	40	120	240	5	20	40	120	240
Январь	-2,1	-0,5	1,0	3,6	4,4	-0,5	-0,3	0,3	2,4	4,6
Февраль	-2,1	-0,6	0,6	3,0	4,1	-0,7	-0,6	0,0	1,8	3,8
Март	-0,9	-0,2	0,5	2,6	3,8	-0,5	-0,5	-0,1	1,5	3,3
Апрель	1,4	0,6	0,7	2,3	3,5	1,7	1,0	0,8	1,3	2,9
Май	7,4	4,9	3,1	2,5	3,3	9,2	8,0	6,9	3,9	3,1
Июнь	14,9	10,9	6,7	3,6	3,3	17,3	15,3	13,4	8,0	4,6
Июль	16,9	13,9	10,2	5,6	3,5	19,9	18,4	16,9	11,7	6,9
Август	15,2	13,6	11,1	7,2	4,1	17,4	16,8	16,1	13,0	8,8
Сентябрь	8,8	9,1	9,1	7,8	4,7	11,4	11,6	12,0	11,8	9,5
Октябрь	2,1	3,7	5,6	7,0	4,9	3,2	4,0	5,2	8,1	8,6
Ноябрь	-0,7	0,9	3,1	5,7	5,0	0,3	0,8	1,8	5,0	7,1
Декабрь	-1,5	-0,2	1,7	4,6	4,8	-0,2	0,1	0,9	3,3	5,6
Год	4,9	4,7	4,5	4,6	4,1	6,6	6,2	6,2	6,0	5,7
Ампл.	19,1	14,4	10,6	5,5	1,7	20,7	19,0	16,9	11,7	6,6

Анализ временного хода температур торфяной почвы на разных глубинах показал, что годовой ход температуры почвы в верхних слоях повторяет годовой ход температуры воздуха. Тепловой режим торфяных почв существенно отличается от минеральных почв. В целом, торфяная почва имеет сглаженную динамику температуры по сравнению с минеральной. В теплое время года торфяная почва холоднее минеральной на 6,7 °С, а в холодное время – почва на болоте теплее на 2,1 °С. Градиенты температур в торфяной почве, по сравнению с минеральной, выше в верхних слоях и ниже в глубинных. Рыхлые верхние слои мохового очеса из-за своей высокой теплоизолирующей способности существенно снижают амплитуду колебаний температуры в нижележащих слоях торфяной залежи. Кроме того, на глубине 10-20 см располагаются болотные воды, и температура в нижележащих насыщенных водой слоях меняется медленнее. При проникновении тепловой волны вглубь почвы происходит уменьшение амплитуды и фазовый сдвиг волны годового хода температуры. Повышенная тепловая инерция торфяной залежи препятствует как ее нагреву, так и охлаждению. Глубина промерзания на болоте почти в два раза меньше, чем на метеостанции.

ОЦЕНКА ПОСТПИРОГЕННОГО СОСТОЯНИЯ И ВОССТАНОВЛЕНИЯ РАСТИТЕЛЬНОСТИ ВЕРХОВОГО БОЛОТА

Гашкова Л.П.

Сибирский научно-исследовательский институт сельского хозяйства и торфа – филиал Сибирского федерального научного центра агробиотехнологий РАН (г. Томск)
gashkova-lp@rambler.ru

Последствия пожаров на осушенных болотах имеют некоторые особенности, по сравнению с ненарушенными болотами, из-за трансформации растительности, микрорельефа и свойств торфяной залежи [1]. На болотах с различными формами микрорельефа выгорание происходит неодинаково. Так, на более сухих болотах, без глубоких мокрых понижений, чаще выгорают межкочья, чем кочки [2]. На болотах с выраженными глубокими мокрыми понижениями выгорают больше всего кочки и плоские места, а понижения всегда остаются невыгоревшими [3]. Данная работа содержит анализ последствий выгорания участка осушенного болота и динамики постпирогенного восстановления растительности.

Пожар на исследуемом участке, расположенном в бассейне р. Гавриловка, произошёл в августе 2016 года. Исследования на данном болоте начались ещё до пожара, с весны 2015 года. Для детального изучения пирогенного влияния были выбраны два участка с различной степенью выгорания растительности. Первый участок расположен в непосредственной близости от осушительного канала, второй в пятидесяти метрах от него.

До пожара растительность на участках представляла собой сосново-кустарничково-сфагновый фитоценоз. Микрорельеф крупнокочковатый, образован моховыми подушками размером 2,5 на 1,5 м и вытянутыми понижениями 0,5 на 1,5 м. Древесный ярус высотой до 4 м и проективным покрытием 40% представлен сосной (*Pinus sylvestris* L. f. *litwinowii*) с единичными вкраплениями *Pinus sibirica* Du Tour. Травяно-кустарничковый ярус с общим проективным покрытием (ОПП) 80% был представлен *Chamaedaphne calyculata* (L.) Moench, *Andromeda polifolia* L., *Ledum palustre* L., *Vaccinium uliginosum* L., *Rubus chamaemorus* L., *Eriophorum vaginatum* L. и *Oxycoccus microcarpus* Turcz. ex Rupr. Моховой ярус с ОПП 90% на кочках был представлен в основном *Sphagnum fuscum* L. (проективное покрытие 75%), с примесью *Pleurozium schreberi* (Brid.) Mitt., *Polytrichum strictum* Brid., *Cladonia deformis* Hoffm., в понижениях добавляется *Sphagnum angustifolium* (Russ. ex Russ.) C. Jens.

В результате пожара на обоих участках деревья обуглились на высоте от 4 см до 2 м от поверхности торфяной залежи и погибли. На момент описания в апреле 2017 года на первом участке также полностью отсутствовал моховой покров и надземная часть травяно-кустарничкового яруса. Микрорельеф, после выгорания моховых кочек, практически сгладился.

На втором участке моховой покров полностью выгорел только в понижениях, несгоревшими остались моховые кочки высотой 20–30 см с частично выжившим *Sphagnum fuscum*. В апреле 2017 года начала отрастать *Eriophorum vaginatum*. (проективное покрытие около 5%).

Уже в июле 2018 года отмечено активное отрастание надземной части кустарничков. Общее проективное покрытие травяно-кустарничкового яруса составило 10% на первом участке и 30% на втором. Отросли молодые побеги *Chamaedaphne calyculata*, *Andromeda polifolia*, *Ledum palustre*, *Vaccinium uliginosum*, *Rubus chamaemorus*. Отмечено появление единичных всходов растений древесного яруса (*Populus tremula* L. и *Betula pubescens* Ehrh.). Пионерами мохового яруса оказались *Polytrichum strictum*, проективное покрытие которого составило к концу сезона уже 10% и единичные куртины *Marchantia polymorpha* L.

В июле 2019 года на первом участке ОПП всходов древесного яруса составило 5%, а травяно-кустарничкового яруса 40%. В моховом ярусе проективное покрытие *Polytrichum strictum* увеличилось до 20%, в подушках этого мха, у его основания, появились новые побеги *Sphagnum fuscum* высотой около 0,5 см.

На втором участке древесный ярус восстанавливается аналогично первому. Травяно-кустарничковый ярус занял уже 60% площади, половину составляет *Vaccinium uliginosum*, которая в июле 2019 года уже активно плодоносила. Моховой ярус (ОПП 60%) наполовину представлен *Sphagnum fuscum*, на его пострадавших от пожара кочках стали появляться живые куртинки, и наполовину *Polytrichum strictum*, который занимает выгоревшие понижения (таблица 1).

Таблица 1. Проектное покрытие каждого яруса на двух исследуемых участках, по годам.

Участок	Год	Общее проективное покрытие яруса, %		
		Древесный ярус	Травяно-кустарничковый ярус	Моховой ярус
1	2016 (сентябрь)	0	0	0
	2017 (июль)	0	10	<5
	2018 (июль)	<5	30	10
	2019 (июль)	5	40	20
2	2016 (июль)	0	0	5
	2017 (июль)	0	30	20
	2018 (июль)	<5	50	40
	2019 (июль)	5	60	60

Таким образом, в результате сравнения постпирогенного восстановления двух участков болота обнаружилось, что наиболее сильно пострадал участок, находящийся в непосредственной близости от осушительного канала, на котором вся надземная часть растений выгорела полностью. Обнаружено, что *Eriophorum vaginatum* и *Polytrichum strictum* первыми начинают заселять выгоревшие участки на осушенном верховом болоте. На третий год после пожара проективное покрытие травяно-кустарничкового яруса достигает от 40 до 60%, а мохового яруса от 20 до 60%, в зависимости от степени выгорания.

Исследования проводились при финансовой поддержке РФФИ, грант № 18-44-700005 р_а «Постпирогенная трансформация болот Западной Сибири: экологические последствия и динамика восстановления».

1. Вомперский С.Э., Глухова Т.В., Смагина М.В., Ковалев А.Г. Условия и последствия пожаров в сосняках на осушенных болотах // Лесоведение. 2007. № 6. С. 35-44.

2. Benschoter B.W. & Wieder R.K. 2003. Variability in organic matter lost by combustion in a boreal bog during the 2001 Chisholm fire. Canadian Journal of Forest Research 33: 2509–2513.

3. Ronkainen T., Väliiranta M., Tuittila E.S. 2013. Fire pattern in a drainage-affected boreal bog. Boreal Environ. Res. 18: 309–316.

ЭМИССИЯ МЕТАНА ИЗ ОЗЁР ЮЖНОЙ ТУНДРЫ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

Голубятников Л.Л.

Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН (г. Москва)

golub@ifaran.ru

Мировая озерная сеть, площадь которой составляет около 3.7% поверхности площади континентов [1], оказывает существенное влияние на глобальный и региональные циклы углерода [2]. В донных отложениях озер происходит накопление органического вещества, в результате этого процесса часть атмосферного углерода выводится из глобального круговорота. В то же время озера являются источниками парниковых газов и, в частности, одним из основных природных источников атмосферного метана. Глобальная эмиссия метана из озер оценивается в 47–140 МтСН₄/год [3], что составляет 24–27% глобальной эмиссии метана из природных источников [4]. Исследования показали, что эмиссия метана из озер происходит непрерывно на протяжении всего теплого периода, когда поверхность озера не покрыта льдом. Интенсивность потока метана из озер в атмосферу существенно зависит от количества органического вещества в донных отложениях водоема и от физико-химических свойств водной толщи озер [5].

В последние годы большое внимание уделяется изучению газообмена между атмосферой и озерами в субполярных регионах суши [4, 6, 7]. Практически не исследованными в качестве источников метана остаются многочисленные озера северной части Западной Сибири. Целью настоящей работы был анализ экспериментальных данных о потоках метана в атмосферу с поверхности озер тундровой зоны Западной Сибири.

Полевые исследования проводились в летний период 2012–2017 годов на ключевых участках южной тундры Ямало-Ненецкого автономного округа. Исследованные озера представляли собой типичные для северной части Западной Сибири мелкие (0.5–2.5 м глубиной) озера с местами заболоченными берегами. Это небольшие по площади озера от 2000 м² до 2 км² с песчано-илистым или торфянистым дном.

Измерения потоков метана на озерах проводились методом статических камер. Использовались пластиковые камеры размером 30×40×40 см, которые удерживались на поверхности воды с помощью поплавков. Время от установки камеры до отбора последней пробы воздуха составляло 30 минут, в течение которого отбиралось четыре пробы камерного воздуха с промежутком в 10 минут. При этом первая проба отбиралась в момент установки камеры на воду. Анализ концентрации метана в отобранных пробах проводился на хроматографе "Кристалл-5000.2", оснащённом пламенно-ионизационным детектором. Удельный поток метана рассчитывался методом линейной регрессии с весами.

Анализ экспериментальных данных показал, что с поверхности исследованных тундровых озер значения потока метана в атмосферу изменялись от 0.02 до 18.2 мгСН₄/м²/ч с медианой 0.7 мгСН₄/м²/ч. Для исследованных тундровых озер донные отложения которых содержат незначительное количество органического вещества, медианный поток метана в атмосферу не превышает 0.3 мгСН₄/м²/ч. Для тундровых озер, донные отложения которых насыщены органическим веществом, характерен более чем в три раза интенсивный медианный поток метана в атмосферу. Анализ значений удельной электропроводности и водородного показателя воды исследованных водоемов указывает на неблагоприятные условия для существования микроорганизмов, окисляющих метан в водной толще, что согласуется с ранее полученными результатами [8]. Указанные оценки получены на основе измерений в основном диффузионных потоков метана с поверхности озер. По этой причине, полученное значение интенсивности выделения метана из озер в атмосферу следует рассматривать как нижнюю границу этой величины для водоемов исследуемого региона.

Наблюдаемые климатические изменения в высоких широтах северного полушария привели к уменьшению продолжительности периода ледостава на озерах, к изменениям ин-

тенсивностей биогеохимических процессов в водной толще озер и их донных отложениях [9]. Учитывая тенденцию к возрастанию эмиссии метана из северных озер при сокращении периода ледостава на них [7], вероятно повышение интенсивности поступления метана в атмосферу из озерной сети рассматриваемого региона при ожидаемых изменениях климата.

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект 14-05-00193-а), крупного проекта (КП19-278 "Новые вызовы климатической системы Земли") по проведению фундаментальных научных исследований по приоритетным направлениям, определяемым президиумом Российской академии наук и в рамках госзадания АААА-А18-18032090072-9.

1. Verpoorter C., Kutser T., Seekell D.A., Tranvik L.J. A global inventory of lakes based on high-resolution satellite imagery // *Geophys. Res. Lett.* 2014. V. 41. P. 6396-6402.

2. Tranvik L.J., Downing J.A., Cotner J. B. et al. Lakes and reservoirs as regulators of carbon cycling and climate // *Limnol. Oceanogr.* 2009. V.54. P. 2298-2314.

3. Saunois M., Bousquet P., Poulter B. et al. The global methane budget 2000-2012 // *Earth Syst. Sci. Data.* 2016. V. 8. P. 697-751.

4. Голубятников Л.Л., Маммарелла И. Потоки метана в атмосферу из озер Фенноскандии // *Изв. РАН. Физика атмосферы и океана.* 2018. Т.54. №6. С. 672-683.

5. Гальченко В.Ф. Метанотрофные бактерии. М.: ГЕОС. 2001. 500 с.

6. Lundin E.J., Klaminder J., Bastviken D. et al. Large difference in carbon emission-burial balances between boreal and arctic lakes // *Sci. Rep.* 2015. V. 5. 14248.

7. Wik M., Varner R.K., Walter Anthony K. et al. Climate-sensitive northern lakes and ponds are critical components of methane release // *Nature Geosci.* 2016. V. 9. P. 99-105.

8. Голубятников Л.Л., Казанцев В.С. Вклад тундровых озер Западной Сибири в метановый бюджет атмосферы // *Изв. РАН. Физика атмосферы и океана.* 2013. Т. 49. № 4. С. 324-333.

9. Bertilsson S., Burgin A., Carey C.C. et al. The under-ice microbiome of seasonally frozen lakes // *Limnol. Oceanogr.* 2013. V. 58. P. 1998-2012.

МОНИТОРИНГ ЗИМОСТОЙКОСТИ ВИДОВ И ГИБРИДОВ 5-ХВОЙНЫХ СОСЕН НА НАУЧНОМ СТАЦИОНАРЕ "КЕДР" ИМКЭС СО РАН

Горошкевич С.Н., Жук Е.А., Васильева Г.В.

Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН (г. Томск)
gorosh@imces.ru

Пятихвойные сосны Евразии распространены в широком диапазоне климатических условий (рис. 1). На стационаре «Кедр» наиболее широко представлены 4 евроазиатских вида 5-хвойных сосен: бореальный сибирский кедр сибирский *Pinus sibirica*, субарктический и субальпийский восточноазиатский кедровый стланик *P. pumila*, неморальный дальневосточный кедр корейский *P. koraiensis* и горно-таежный европейский кедр европейский *P. cembra*.

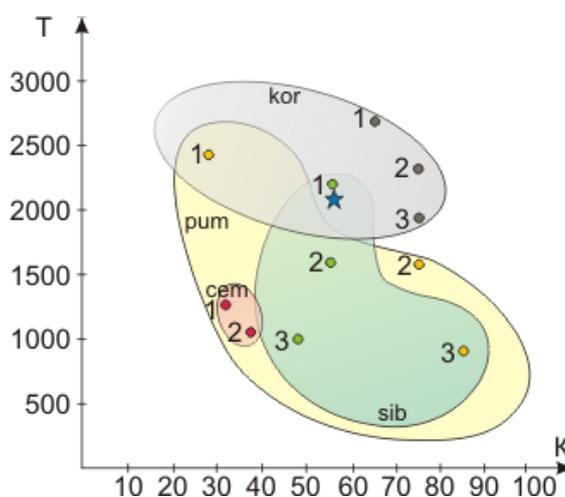


Рисунок 1. (а) – климатический ареал кедров сибирского (sib), кедров европейского (sem), кедров корейского (kor), кедрового стланика (pum). По оси абсцисс – континентальность климата, по оси ординат – сумма температур выше 10 °С. Цифрами показаны экотипы, звездочкой – условия клонового архива, юг Томской области.

Сравнительный анализ роста этих видов в условиях клонового архива на юге Томской области показал, что наибольшим потенциалом роста обладает кедр корейский. Далее, в порядке убывания следует кедр сибирский, кедр европейский и кедровый стланик.

Исследованные экотипы кедров корейского происхождения из муссонного климата, где они произрастают в составе низко- и среднегорных смешанных лесов. Поэтому в условиях Томской области этот вид наименее устойчив к местным климатическим условиям и часто (раз в несколько лет) повреждается заморозками и морозным выветриванием.

Кедр европейский и кедровый стланик, имея горное происхождение, в условиях Томской области растут не быстро (медленнее местного вида – кедров сибирского) и характеризуются абсолютной зимостойкостью.

Кедр сибирский представлен на стационаре многими (несколько десятков) климатическими экотипами. Все они устойчивы к томскому климату. Южные и западные растут почти так же быстро, как кедр корейский. Северные и высокогорные растут очень медленно, медленнее, чем кедр европейский. Это происходит потому, что они адаптированы к короткому вегетационному сезону и не могут полностью использовать имеющиеся климатические ресурсы. К тому же, начиная рост раньше других экотипов, при накоплении небольшой суммы температур, они в некоторые подвержены повреждению весенними заморозками. По этим причинам они сильно повреждаются насекомыми-вредителями и грибными заболеваниями.

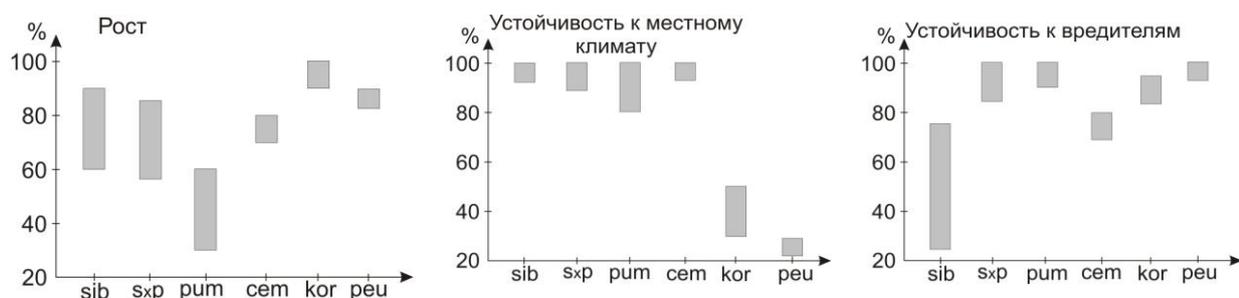


Рисунок 2. Слева направо: Линейный рост разных видов 5-хвойных сосен и гибридов кедра сибирского и кедрового стланика (s×p), устойчивость к местным климатическим условиям и устойчивость к насекомым вредителям (в % от максимального значения признака).

Также на стационаре выращиваются межвидовые гибриды 5-хвойных сосен. Больше всего гибридов между кедром сибирским и кедровым стлаником, потомство которых получено от естественных гибридов и в результате контролируемых опылений. Гибриды кедра и стланика растут хорошо как в семенном, так и в вегетативном потомстве, но иногда наблюдаются их механические повреждения от навала снега: выламываются крупные скелетные ветви. Отмечены повреждения от насекомых, но их степень не превышает таковую у родительских видов.

Гибриды *P. sibirica* × *P. koraiensis* были привиты на научном стационаре «Кедр» в 2006 году черенками с гибридов, полученных в Ивантеевском питомнике в 1960-х годах. Растения отличаются хорошим ростом, от морозных повреждений не страдают, грибковые заболевания не замечены.

Таким образом, в испытательных культурах на юго-востоке Томской области проведен сравнительный анализ роста и развития четырех видов кедровых сосен, представленных контрастными географическими экотипами, в связи с климатическими условиями в местах их происхождения. Континентальность климата и суровость зимы почти не влияет на состояние культур, которое определяется теплообеспеченностью вегетационного периода. С ее увеличением ростовой потенциал увеличивается, а устойчивость к климату меняется неоднозначно: несколько снижается у растений из более холодных и сильно снижается у растений из более теплых мест. Эти закономерности в равной мере проявляются как на внутривидовом, так и на межвидовом уровне. С видовой принадлежностью тесно связана лишь устойчивость к насекомым-вредителям: она минимальная у местного вида, максимальная – у далеких от него в филогенетическом отношении видов. Полученные результаты открывают новые возможности для моделирования реакции лесных древесных растений на климатические изменения и введения их в культуру.

НЕГАТИВНОЕ ВЛИЯНИЕ КЛИМАТИЧЕСКИХ И АНТРОПОГЕННЫХ ФАКТОРОВ НА СОСТОЯНИЕ СТЕПНЫХ ГЕОСИСТЕМ ЮГО-ВОСТОЧНОГО ЗАБАЙКАЛЬЯ

Давыдова Н.Д., Дубынина С.С.

Институт географии им. В.Б. Сочавы СО РАН (г. Иркутск)

davydova@irigs.irk.ru

Одной из главных проблем современности остается глобальное потепление и его негативное влияние на биосферу. Непременным условием нормального существования которой, является не только температура, но и количество атмосферных осадков. В различных регионах России величины и соотношения этих важных для всего живого показателей неоднородны. Их тренды могут быть одно- или разнонаправленными соответственно меняется и эффект влияния на компоненты природной среды. Так, в зоне степей Монголии и Китая повышение температуры и уменьшение количества атмосферных осадков привело к исчезновению множества малых рек и озер [1]. Оценить трансформацию растительности степей оказалось сложно, так как основной проблемой еще остаются перевыпас и весенние палы, сенокосение которые по эффективности воздействия перекрывает влияние природных факторов [1, 2].

Мониторинг состояния криоксерофильных степей Юго-Восточного Забайкалья территории, сопряженной с Монголией и Китаем, начат в 2001 году в связи с потеплением климата [3]. Новые материалы получены в период 2001-2017 гг. в результате экспедиционных исследований Онон-Аргунского междуречья и режимных наблюдений в полустационарных условиях на Харанорском ключевом участке, где ранее (1962-1980 гг.) изучение степей велось под руководством акад. В.Б. Сочавы.

Анализируя климатические показатели Забайкалья с 1955 года, В.А. Обязов и Е.В. Носков выделяют две влажные фазы (1955-1964; 1982-1998 гг.) и две сухие: 1965-1981 гг. и новая фаза пониженной увлажненности, начавшаяся в 1999 году [4].

Метеорологические данные ст. Борзя показывает, что в последние 19 лет (1999-2017 гг.) по сравнению с влажным и холодным периодом (1955-1964 гг.) климат степей Юго-Восточного Забайкалья стал суше на 45 мм в год и теплее на 1,13°C. Величина отклонения количества осадков занижена за счет влажного (520 мм) 2013 года. Наиболее существенные изменения степного ландшафта произошли в первой половине сухого периода, когда количество атмосферных осадков в среднем уменьшилось на 62 мм в год, а среднегодовая температура повысилась на 1,1°C. К тому же в отдельные годы (2001, 2004 гг.) количество поступившей влаги не превышало 159 мм в год. [5].

Засуха катастрофически сказалась, прежде всего, на водности озер и древесных насаждениях, трансформации травяного покрова степей, что проявилось в изменении структуры и видового состава растительных сообществ. В настоящее время обстановка стабилизировалась. В качестве индикаторов негативного процесса аридизации определены как показатели условий природной среды, так и показатели ответной реакции компонентов ландшафтов (табл. 1).

Адекватно менялся водный режим почв и запасы влаги, которые по сравнению со средневлажными годами XX в. уменьшились. Основной влагооборот осуществляется в слое почв 0-20, 0-40 см. Увлажнение стало поверхностным. Большую часть вегетационного сезона отмечался дефицит продуктивной влаги, которая была ниже влажности завядания (80-90 мм). В слое 0-100 см запас влаги уменьшился на 75 мм. Вода находилась практически в мало доступной форме, что повлияло в первую очередь на жизненное состояние древесной растительности, вплоть до их тотальной гибели.

Таблица 1. Показатели условий природной среды северных степей Центральной Азии и ответной реакции компонентов ландшафтов

Показатели условий среды	Показатели ответной реакции степей
1. Уменьшение среднегодового количества атмосферных осадков. 2. Повышение среднегодовой температуры воздуха. 3. Уменьшение влажности воздуха.	1. Снижение уровня воды в озерах. 2. Повышение минерализации озерных вод. 3. Уменьшение площади акватории озер вплоть до полного их исчезновения. 4. Увеличение площади приозерных солончаков. 5. Опускание уровня грунтовых вод. 6. Повышение температуры поверхности почвы в летний период и среднегодовой температуры почвы. 7. Уменьшение запасов влаги в почве. 8. Повышение минерализации почвенных растворов 9. Уменьшение содержания гумуса почвы. 10. Усыхание и гибель древостоев. 11. Трансформация травяного покрова степей (изменение структуры и видового состава растительных сообществ за счет внедрения более ксерофильных видов). 12. Уменьшение высоты и густоты травостоя. 13. Снижение продуктивности степных и лугово-степных сообществ. 14. Увеличение площади, занимаемой сообществами галофитов.

Уменьшение годового количества атмосферных осадков, и направленное снижение отрицательных среднегодовых температур вызвало перестройку видового состава растительных сообществ, уменьшение высоты травостоя, разреженность проективного покрытия. Все это негативно сказалось на запасах надземной массы всех степных сообществ. Так, продуктивность пижмовых сообщества склонов и плоских вершин увалов снижена примерно на 100 г/м² и составляет 200-250 г/м². Наименьшими запасами (80-130 г/м²) выделяются хамеродово-типчачковые сообщества вершин.

Установлено, что в степных ландшафтах Юго-Восточного Забайкалья потепление и уменьшение количества атмосферных осадков вызвало разномасштабные процессы их преобразования. Наиболее наглядно это проявляется в усыхании мелководных озер, снижении запасов влаги в почве, повсеместной гибели древесных насаждений, изменении видовой насыщенности и видового разнообразия травяного растительного покрова, уменьшении запасов растительной массы.

1. Ecological consequences of biosphere processes in the ecotone zone of Southern Siberia and Central Asia: Proceeding of the International Conference. Ulaanbaatar: Bembi san Publishing House. 2010. Vol. 1. Oral repots. 302 p.

2. Экосистемы Центральной Азии: исследования, сохранение, рациональное использование / Материалы XI Убсунурского международного симпозиума. Кызыл, РИО ТГУ, 2012. 456 с.

3. Снытко В.А., Давыдова Н.Д., Дубынина С.С. Процессы трансформации криоксерофитных степей Юго-Восточного Забайкалья // География и природ. ресурсы. 2003. № 4. С. 20-26.

4. Обязов В.А., Носкова Е.В. Изменения агроклиматических ресурсов Забайкалья в условиях глобального потепления // Окружающая среда и устойчивое развитие регионов. Труды Всерос. научной конференции с международным участием. Казань: Изд-во «Отечество», 2013. Т. II. С. 10-12.

5. Давыдова Н.Д. Динамика показателей степных геосистем Юго-Восточного Забайкалья в условиях глобальных изменений климата // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2014. - № 4. С. 120-125.

АВТОМАТИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ ПОТОКОВ УГЛЕКИСЛОГО ГАЗА НА ГРЯДОВО-МОЧАЖИННОМ КОМПЛЕКСЕ БОЛОТА «МУХРИНО»

Дюкарев Е.А.^{1,2}, Лапшина Е.Д.², Филиппова Н.В.², Филиппов И.В.², Заров Е.А.², Дмитриченко А.А.²

¹ Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН (г. Томск)

² Югорский государственный университет (г. Ханты-Мансийск)

egor@imces.ru

Исследование функционирования болотных экосистем в зоне средней тайги Западной Сибири проводилось на базе международной научной полевой станции «Мухрино» (Югорский государственный университет, Ханты-Мансийск), основанной в 2009 году. Полевая станция входит в международную сеть INTERACT и активно используется российскими и зарубежными учеными.

Автоматический мониторинг потоков углекислого газа с поверхности торфяников был организован в 2017–2018 годах с помощью автоматизированной системы почвенного дыхания. Система была установлена на олиготрофном грядово-мочажинном комплексе. Система почвенного дыхания измеряет и регистрирует температуру и влажность воздуха, поступающую фотосинтетическую активную солнечную радиацию (PAR), содержание углекислого газа и водяных паров в атмосфере. В состав комплекса входит двухканальный газоанализатор Li-7000 (Li-COR Biogeosciences, США) и две прозрачные измерительные камеры объемом по 120 л. Камеры большую часть времени находятся в открытом состоянии, и для измерения потока они закрывались на 5 минут каждый час. В 2017 году шаг наблюдения составлял 3 часа. Проба воздуха непрерывно прокачивается через камеру и газоанализатор с помощью насоса со скоростью 4 л/мин. Данные наблюдений накапливаются в регистрирующем устройстве и передаются на веб-сервер и в последующем обрабатываются с использованием специально созданных программных модулей.

Всего было проведено около 480 наблюдений за потоками на каждом участке в 2017 году и более 2500 наблюдений в 2018 году. Среднемесячные среднесуточные вариации потоков CO₂ для разных месяцев и стандартные отклонения показаны на рис. 1. Суточный ход потоков одинаков во все месяцы. Положительные потоки были зарегистрированы в темное время суток и представляют общее дыхание экосистемы. Отрицательные потоки, наблюдаемые с раннего утра (4:00–6:00) до позднего вечера (18:00–20:00), связаны с интенсивной ассимиляцией CO₂ во время фотосинтеза.

Суточный ход потоков углекислого газа имеет четкий максимум в ночные часы, когда CO₂ выделяется в атмосферу, и минимум в 10–13 часов дня, когда поглощение CO₂ растениями превышает дыхание экосистемы.

Накопление диоксида углерода в растениях с отрицательными потоками CO₂ в прозрачных камерах начинается в мае даже при низких температурах воздуха, но суммарные потоки слишком малы. Во время летнего повышения температуры воздуха и развития растительности дневные потоки возрастают по модулю и максимальное усвоение CO₂ наблюдается в середине июля. Ночное дыхание увеличивается с мая по июль в соответствии с сезонным повышением температуры воздуха и развитием растительности. Дыхание экосистем в августе–октябре ниже, чем в середине лета из-за снижения температуры воздуха и почвы, но выше, чем в начале вегетационного периода, из-за присутствия свежей отмирающей растительности.

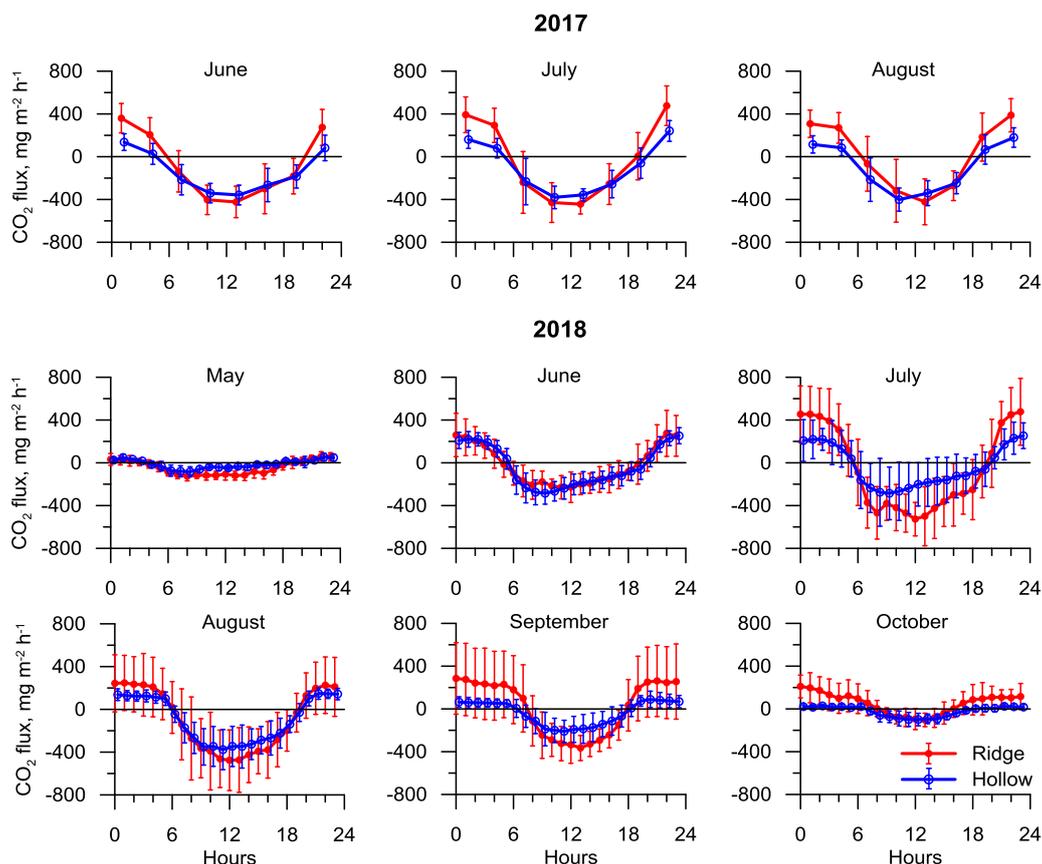


Рисунок 1. Среднемесячные суточные вариации потоков CO_2 , измеренные на гряде и мочажине ГКМ на болоте Мухрино, в июне-августе 2017 года и мае-октябре 2018 года.

Суточные потоки, измеренные на мочажине в разные летние месяцы в 2017 году, существенно не меняются (рис. 1). На гряде с июня по август наблюдается незначительное снижение поглощения CO_2 до полудня и увеличение выбросов ночью. Ранняя весна 2017 года стимулировала быстрое развитие сосудистых растений и формировала продолжительный вегетационный период. Сезонные колебания потоков CO_2 в 2018 году более выражены из-за более длительного периода наблюдений и чрезвычайно теплой осени.

Максимальные суточные колебания потоков характерны для июля, когда суточная амплитуда потоков достигает 622 и 1004 $\text{mg m}^{-2} \text{ч}^{-1}$ соответственно на мочажине и гряде. В мае и октябре 2018 г. наблюдается сглаженная суточная динамика потоков с пониженной суточной амплитудой. Амплитуда вариаций потоков CO_2 в сентябре составляет 127 и 313 $\text{mg m}^{-2} \text{ч}^{-1}$ на мочажине и гряде.

Мелкие кустарнички и травы, растущие на гряде, имеют более высокую зеленую биомассу, чем осоки на мочажине. Таким образом, потоки как ассимиляции, так и эмиссии на гряде имеют более высокие значения по модулю почти в течение всего вегетационного периода, кроме мая.

ЭКОЛОГО-ГЕОГРАФИЧЕСКАЯ ДИФФЕРЕНЦИАЦИЯ КЕДРОВОГО СТЛАНИКА: ИССЛЕДОВАНИЕ *EX SITU*

Жук Е.А.

Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН (г. Томск)

eazhuk@yandex.ru

Кедровый стланик (*Pinus pumila* (Pall.) Regel.) имеет самый большой ареал среди видов подрода *Strobus*, составляющий около 6 млн. км², основная часть которого находится на территории России и Японии. Вид произрастает в широком спектре климатических условий - от субальпийского до субтропического климата и имеет жизненную форму стелющегося дерева. Кедровый стланик обладает высоким по сравнению с другими видами хвойных уровнем генетического разнообразия, что было доказано с помощью исследования аллозимного полиморфизма (Политов и др., 1992; Tani et al., 1996). Исследования внутривидового разнообразия по морфологическим признакам проводились только в природных популяциях.

Одним из основных методов изучения внутривидового разнообразия является исследование перемещенного семенного или вегетативного потомства растений из разных частей ареала в относительно однородные условия района эксперимента, т.е. выращивание потомства *ex situ*. Уже почти на протяжении столетия выращивание в однородных условиях растений из популяций разного происхождения позволяет выяснить, насколько географическая и экологическая изменчивость морфологических признаков генетически обусловлена. Кедровый стланик необычен для сосновых и по своей жизненной стратегии, и по структуре климатического ареала, однако исследования морфологии *ex situ* у кедрового стланика до сих пор не проводились. Целью данной работы было выявить различия по морфологическим признакам у кедрового стланика различного географического происхождения при выращивании его семенного потомства *ex situ*.

Семена были собраны в августе 2004 г. в 3 российских популяциях кедрового стланика, которые расположены далеко друг от друга и охватывают значительную часть климатического разнообразия ареала (табл. 1). В каждой популяции было выбрано по 25 деревьев, с каждого из которых было собрано по 5 шишек. После 3-месячной холодной стратификации смешанные образцы семян из каждой популяции были посеяны рядами в открытый грунт в мае 2005 г. на научном стационаре "Кедр" Института мониторинга климатических и экологических систем СО РАН.

Таблица 1. Географическое положение и климат районов происхождения растительного материала и района эксперимента.

Экотип	Широта, с.ш.	Долгота, в.д.	Высота над уровнем моря, м	Тип климата
Томск (научный стационар «Кедр»)	56°14'	84°30'	150	Умеренный континентальный
Северо-Муйский хребет	56°10'	113°30'	900	Умеренный континентальный
Циммермановка	51°17'	139°13'	100	Субтропический континентальный
Кунашир	44°20'	145°40'	150	Субтропический муссонный

У 13-летних сеянцев были измерены высота и ширина кроны, длина ствола и его диаметр на высоте 2 см от поверхности почвы, длина хвои на последнем лидерном побеге и подсчитано общее число боковых ветвей на стволе. Так как стланик – это стелющееся дерево, длина ствола и высота сеянца – это разные величины. Высота измерялась как расстояние от поверхности почвы до высшей точки сеянца. Выборка из каждой популяции содержала по 30

сеянцев. Для оценки разнообразия между популяциями по этим признакам использовали однофакторный дисперсионный анализ (ANOVA). Если анализ показывал, что совокупность неоднородна, то экотипы сравнивали между собой с помощью теста Дункана.

Сеянцы из всех экотипов были в разной степени подвержены обмерзанию побегов. Сеянцы из Кунашира оказались самыми морозостойкими - обмерзанию подверглись 7 сеянцев, при этом большая часть этих сеянцев имела единичные повреждения побегов, и лишь у одного сеянца погибло несколько ветвей. Экотипы из Циммермановки и Северо-Муйского хребта были менее морозостойкими. Почти все сеянцы из Циммермановки имели морозные повреждения побегов, однако все они были единичными. Более половины сеянцев с Северо-Муйского хребта имели такие же единичные морозные повреждения побегов, а 2 сеянца имели сильные повреждения, которые привели в их гибели.

Дифференциация по морфологическим признакам между потомством из разных экотипов оказалась довольно высокой (табл. 2). Различий по основным признакам между сеянцами из Циммермановки и Северо-Муйского хребта не было, но оба они существенно отличались от сеянцев с Кунашира. Сеянцы с Кунашира имели на 10% более длинный ствол, почти на 50% более широкую крону и значительно сильнее полегали. Вероятно, кунаширские сеянцы, происходящие из теплого климата, более полно использовали ресурсы вегетационного периода в условиях *ex situ*, а также меньше обмерзали вследствие более полного полегания в период осенних и весенних заморозков.

Таблица 2. Средние значения и стандартные отклонения морфологических признаков у 13-летнего семенного потомства кедрового стланика из разных экотипов конца вегетационного сезона.

Признаки	Кунашир	Циммермановка	Северо- Муйский хребет
Длина ствола, см	130,5±18,4 a	117,9±20,5 b	118,4±22,7 b
Диаметр ствола, мм	3,8±1,2 a	3,5±0,9 a	3,5±0,9 a
Высота дерева, см	104,7±19,2 a	109,3±18,6 a	109,5±21,3 a
Ширина кроны, см	107,4±36,8 a	72,8±19,4 b	75,3±18,4 b
Соотношение длины ствола и высоты дерева	1,2±0,1 a	1,1±0,0 b	1,1±0,0 b
Число боковых ветвей	23,6±4,9 a	24,8±5,0 a	24,2±6,4 a
Длина хвои, см	8,0±1,6 a	7,3±1,4 a	8,0±1,9a

Примечание. Наличие одинаковой буквы у разных экотипов означает отсутствие значимых различий между ними по данному признаку.

1. Политов Д.В., Крутовский К.В., Алтухов Ю.П. Характеристика генофондов популяций кедровых сосен по совокупности изоферментных локусов // Генетика. – 1992. – Том 28. – № 1. – С. 93–114.

2. Tani N., Tomaru N., Araki M., Ohba K. Genetic diversity and differentiation in populations of Japanese stone pine (*Pinus pumila*) in Japan // Canadian Journal of Forest Research. – 1996. – Vol. 26. – № 8. – P. 1454–1462.

МОДЕЛИРОВАНИЕ БИОЛОГИЧЕСКОГО КРУГОВОРОТА И ТЕПЛОМАССООБМЕНА В ТОРФЯНЫХ ЗАЛЕЖАХ БОЛОТНЫХ ЛАНДШАФТОВ ЮЖНОЙ ТАЙГИ ПРИ ИЗМЕНЕНИИ КЛИМАТА

Завалишин Н.Н.

Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН (г. Москва)
nickolos@ifaran.ru

Сложность структуры и нелинейность функционирования биологического круговорота особенно ярко проявляются в болотных экосистемах, где регулярно меняющийся уровень болотных вод (УБВ) порождает существование насыщенного и ненасыщенного влагой слоев торфяной залежи и как следствие изменчивость эмиссии углеродсодержащих газов с поверхности. Поэтому разработка совместных динамических моделей функционирования биологического круговорота и биогеохимических процессов в торфяной залежи для болот различных типов является актуальной задачей в свете непрерывно идущего уточнения механизмов взаимодействия биосферы и климата и постановки вопроса о том, смогут ли болота быть эффективными поглотителями излишков углерода из атмосферы.

Комплексная Модель Болотных Ландшафтов (КОМБОЛА) представляет собой совокупность динамических моделей биотического круговорота, нетто-экосистемного обмена, водного баланса, тепловлагопереноса, генерации и переноса CO_2 и CH_4 в торфяной залежи, торфонакопления на верховых болотах в зависимости от УБВ на среднегодовом, сезонном и суточном интервалах времени. Наиболее полно реализованы в настоящий момент модули для среднегодового шага времени. Уровень болотных вод (УБВ) выделяет в залежи два слоя – аэробный и анаэробный с различными плотностями, компонентами биотического круговорота служат живое и мертвое органическое вещество. Массо-балансовые уравнения круговорота углерода дополняются балансом влаги верхнего ненасыщенного слоя торфа, который определяется годовой суммой осадков, стоком, суммарным испарением и притоком влаги из соседних ландшафтов, и уравнениями диффузии углекислого газа и теплопереноса в аэробном слое торфяной залежи. Калибровка потоковых функций углеродного цикла использует измеренные среднегодовые значения потоков и запасов болотных ландшафтов за период 2001-2013 г.г. [1], а данные об УБВ, осадках и стоке позволяют калибровать зависимости потоков влаги от влагосодержания ненасыщенного слоя торфяной залежи. Включение влагосодержания верхнего слоя торфяной залежи в модель позволяет отразить существующие типы болотных ландшафтов в виде равновесий, имеющих разные области устойчивости. Методы теории бифуркаций позволяют определить границы устойчивости стационарных состояний модели в пространстве параметров, зависящих от характеристик климата (среднегодовой температуры и суммы осадков). Для болотных экосистем это интенсивность ассимиляции углерода растительностью из атмосферы и скорость разложения мертвого органического вещества.

Процессы тепло-, влаго- и газопереноса в почвенном профиле играют важную роль в уровне эмиссии углеродсодержащих газов с поверхности болотных ландшафтов [3]. Поэтому сопряжение динамической модели биотического круговорота и одномерной по глубине торфяной залежи модели тепло-, влаго- и газопереноса позволяет сделать вычисление эмиссии более точным и одновременно получить температурные профили и распределение влаги. Основой подхода к моделированию диффузии и эмиссии CO_2 в торфяной толще стала одномерная по вертикальному профилю залежи модель из работ [2, 4], которая подверглась модификации для учета биотического круговорота в наземной части экосистемы. В результате получается начально-краевая задача:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{\partial C_{CO_2}}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} (D_{CO_2} \frac{\partial C_{CO_2}}{\partial z}) + \lambda (C_a - C_{CO_2}) - \frac{\partial C_2}{\partial t} \\ \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} (\lambda \frac{\partial T}{\partial z}) \\ C_{CO_2}|_{z=0} = C_a, \quad T|_{z=0} = T_a \end{array} \right. , \quad (1)$$

в которой $C_{CO_2}(z)$ и $T(z)$ – общая концентрация углекислого газа и температура залежи на глубине z , C_2 – общий запас углерода в мертвом органическом веществе ненасыщенного слоя ($гC/m^2$), $D_{CO_2}(w)$ – единый коэффициент диффузии, подразделяющийся на газовую и жидкую фазы, C_a, T_a – приземные концентрация CO_2 в атмосфере и температура воздуха, $F_d(T, w)$ – фактор влияния температуры и влагосодержания на скорость разложения, λ - коэффициент теплопроводности, а $c_{эфф}$ – эффективная теплоемкость. Единый коэффициент диффузии учитывает как диффузию CO_2 в газовой, так и в жидкой фазах с учетом растворимости в воде и пористости торфяного слоя.

Верификация модели диффузии CO_2 и теплопереноса проведена на данных по плотности, стратификации торфа и профилям содержания парниковых газов в торфяной залежи типичных олиготрофных болотных ландшафтов южной тайги Западной Сибири: осоково-сфагновой топи, низкого и высокого рямов, гряды и мочажины грядово-мочажинного комплекса. Задача (1) решается совместно с массо-балансовыми уравнениями круговорота углерода на среднегодовом шаге времени.

Для моделирования последствий изменений климата использованы климатические проекции модели IPSL, основанные на двух сценариях RCP антропогенных выбросов в атмосферу в ближайшие 100 лет – «жестком» RCP-8.5 и «мягком» RCP-2.6. Исследован вопрос о максимально возможном изъятии углерода из атмосферы болотными ландшафтами южной тайги при изменениях климата по этим сценариям и о максимальной суммарной эмиссии, которыми будет сопровождаться эволюция биологического круговорота болотных экосистем.

Работа поддержана проектом РФФИ № 19-05-00534-а.

1. Головацкая Е.А., Потоки углерода в болотных экосистемах южной тайги Западной Сибири. – Диссертация на соискание уч. Степени д.б.н., Томск, 2013.

2. Калюжный И.Л., Лавров С.А., Сезонная эмиссия двуокиси углерода в засушливый год на олиготрофном болотном массиве северо-запада России. // *Метеорология и гидрология*, 2005, № 10, с. 81-93.

3. Лавров С.А., Анисимов О.А., Моделирование гидротермического режима грунтов: описание физически полной динамической модели и сравнение данных расчетов и наблюдений. // *Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем*, 2011, т. 24, с. 241-254.

4. Лавров С.А., Курбатова Ю.А., Математическое моделирование тепловлагообмена и потоков CO_2 на поверхности верхового болота. // *Известия РАН. Физика*

ОЦЕНКА ГОРИМОСТИ БОЛОТ ТОМСКОЙ ОБЛАСТИ

Керганд А.А.

Сибирский научно-исследовательский институт сельского хозяйства и торфа – филиал Сибирского федерального научного центра агробиотехнологий РАН (г. Томск)
dark-gendalf@mail.ru

Проблематика торфяных пожаров, актуальна как для Российской Федерации, так и за рубежом. На сегодняшний день пожары в Российской Федерации (в том числе и на болотах) переросли масштабы локальных стихийных бедствий и стали реальной угрозой для экологии, экономики и здоровья населения [1]. Значительная часть возгораний возникает на болотах юго-восточной части Западной Сибири. Нередко торфяные пожары перерастают в лесные, при этом в больших масштабах выгорают леса эксплуатационного назначения. Чтобы узнать реальные масштабы наносимого стихийным бедствием экологического и экономического ущерба, необходимо проводить комплексные исследования с использованием как наземных, так и дистанционных данных.

Цель исследования – провести оценку выгоревшей площади болот Томской области.

Сделана выборка из 31 участка, пострадавшего от пожаров в период с 23.09.2014 по 24.03.2018. Участки были обработаны в программе Q GIS, с использованием снимков Landsat 8. Для выделения контуров пожаров применялся NDVI (normalized difference vegetation index, нормализованный вегетационный индекс).

Был выделен 31 контур пожаров, общей площадью 11 км². На основе снимков Landsat 8 были рассчитаны площади выгоревших территорий по типам болот, по районам, также для каждого района было подсчитано количество возгораний за указанный период.

Таблица 1. Количество возгораний и выгоревшая площадь по районам.

Районы	Количество возгораний	Выгоревшая S км ²
Бакчарский	1	5,17
Верхнекетский	6	0,49
Молчановский	4	0,13
Парабельский	1	0,002
Первомайский	6	1,81
Тегульдетский	1	1,24
Томский	11	0,25
Чайнский	1	2,14

Исследования показали, что наибольшая выгоревшая площадь приходится на Бакчарский район. Наибольшее количество возгораний возникло на территории Томского района.

Из таблицы 2 и рисунка 1 видно, что большая часть выгоревшей площади приходится на верховые осушенные болота. Так же стоит отметить, что соотношение частоты случаев возгорания осушенных и естественных участков приблизительно равно. Однако, осушенные участки, значительно превосходят естественные по выгоревшей площади.

Таблица 2. Выгоревшая площадь по типам болот, соотношение возгораний осушенных и естественных участков.

Тип болота	Низинное	Верховое	Переходное
Выгоревшая S км ²	1,65	7,23	2,19



Рисунок 1. Соотношение возгораний на осушенных и естественных участках.

1. Зайдельман Ф.Р. Проблема защиты осушаемых торфяных почв от пожаров и её решение // Почвоведение. Российская академия наук, 2011. – № 8 – с. 1000-1009.

СОЮЗНЫЙ КОРОЕД *IPS AMITINUS* – НОВЫЙ ФАКТОР ДЕГРАДАЦИИ ПРИПОСЕЛКОВЫХ КЕДРОВНИКОВ В ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

Керчев И.А.^{1,2}, Кривец С.А.¹, Скороходов С.Н.¹, Смирнов Н.А.²

¹ Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН (г. Томск)

² Томский государственный университет (г. Томск)
ikea86@mail.ru

В 2019 г. установлена инвазия на территорию Западной Сибири союзного (многоходового) короеда *Ips amitinus* (Eichh.). За последние 10 лет это уже второй случай выявления (после дальневосточного уссурийского полиграфа) вселения чужеродного вида в сибирские таежные экосистемы.

Первичный ареал *I. amitinus* а охватывает почти всю южную и центральную Европу. В настоящее время союзный короед широко распространен во многих европейских странах. В последние десятилетия наблюдается его активная экспансия в страны Северной Европы (Швецию и Норвегию), которую связывают прежде всего с климатическими изменениями [1]. В России *I. amitinus* отмечен в западных, северо-западных и северных районах европейской части с тенденцией к расширению ареала [2–4].

В Западной Сибири союзный короед обнаружен на юге Томской и севере Кемеровской области, где он формирует очаги размножения в припоселковых кедровниках – ценных орехопромысловых лесах, генетических резерватах кедра сибирского. Как это часто происходит с чужеродными видами стволовых насекомых в связи с их скрытым образом жизни, инвазия *I. amitinus* в Западную Сибирь выявлена с опозданием, только когда он стал массово повреждать деревья в припоселковых кедровниках. Предположительно, короед вначале проник на север Кемеровской области, в кедровники Яшкинского района, через который проходит Транссибирская магистраль – известный инвазионный коридор для расселения чужеродных видов. Именно здесь в 2014 г. были замечены первые признаки характерного повреждения кедра сибирского, которое начиналось с усыхания вершинной части кроны (союзный короед заселяет ветки и верхнюю часть ствола). За пять следующих лет короед широко распространился во многих кедровниках Яшкинского района, вызывая массовое отмирание деревьев, и, видимо, оттуда самостоятельно расселился на сопредельную территорию Томской области. Проведенные санитарные рубки с целью ограничения распространения и снижения численности вредителя в припоселковых кедровниках Кемеровской области не были эффективными, где продолжается ухудшение состояния древостоев.

В Томской области с 2018 г. интенсивный очаг размножения союзного короеда действует в Лучаново-Ипатовском кедровнике Томского района, в насаждениях, поврежденных в результате массового размножения главного хвоегрызущего вредителя кедра – сибирского шелкопряда *Dendrolimus sibiricus* Tschetw в предыдущие годы. В настоящее время выявлено распространение союзного короеда во всех припоселковых кедровниках Томского района, в Мельниковском кедровнике в Шегарском районе, в Куендатском кедровнике в Первомайском районе, что требует проведения мониторинга инвазионного процесса.

Размножению *I. amitinus*, по-видимому, благоприятствовали повышенная температура вегетационного сезона на юго-востоке Западной Сибири в последнее десятилетие, особенно жаркая сухая погода в 2012 г., сильные снегопады, вызывающие появление в большом количестве сломленных ветвей кедра, которые активно заселяются короедом, а в Томской области также ослабление деревьев в результате их дефолиации сибирским шелкопрядом.

Оценивая вредоносность *I. amitinus*, следует отметить, что, согласно литературным данным, этот вид является достаточно агрессивным короедом, характеризуется высоким потенциалом размножения, способен к дальним миграциям и развитию на разных видах хвойных [1, 5].

В связи с проникновением союзного короеда в Сибирь и массовой гибелью деревьев в припоселковых кедровниках возникает риск деградации ценных лесных насаждений, сниже-

ния их орехопродуктивности и дальнейшего распространения союзного короеда в лесах региона.

1. Økland B., Schroeder M., Zach P., Cocos D., Martkainen P., Siitonen Ju., Mandelshtam M. Yu., Musolin D. L., Neuvonen S., Vakula J., Nikolov Ch., Lindelöw A., Voolma K. Range expansion of the small bark beetle *Ips amitinus*: a newcomer in Northern Europe // *Agricultural and Forest Entomology*. 2019. P. 1–12.

2. Mandelshtam M. Yu. Current status of *Ips amitinus* Eichh. (Coleoptera, Scolytidae) in North-West Russia // *Entomologica Fennica*. 1999. Vol. 10, № 1. P. 29–34.

3. Voolma K., Mandelshtam M. Yu., Shcherbakov A. N., Yakovlev E. B., Ounap H., Suda I., Popovichev B. G., Sharapa T. V., Galasjeva T. V., Khairtdinov R. R., Lipatkin V. A., Mozolevskaya E. G. Distribution and spread of bark-beetles (Coleoptera: Scolytidae) around the Gulf of Finland: A comparative study with note on rare species of Estonia, Finland and North-Western Russia // *Entomologica Fennica*. 2004. Vol. 15, № 4. P. 198–210.

4. Мандельштам М. Ю., Мусолин Д. Л. Продолжающееся расширение ареала короеда *Ips amitinus* (Eichhoff, 1872) (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae) на северо-западе и севере России. В кн.: Ю.Н. Баранчиков (ред). Мониторинг и биологические методы контроля вредителей и патогенов древесных растений: от теории к практике. Красноярск: ИЛ СО РАН, 2016. С. 129–130.

5. Mazur A., Kuźmiński R. Phenology of development and population characteristics of the small spruce bark beetle *Ips amitinus* (Eichh.) in the Karkonoski National Park // *Folia Forestala Polonica*. 2013. Ser. A, vol. 55, № 2. P. 89–96.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗАПАСА ТРАВЯНИСТЫХ РАСТЕНИЙ ГРЕМЯЧЕЙ ГРИВЫ Г. КРАСНОЯРСКА

Клинкович Е.В., Спицына Т.П., Симонова С.А.

Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика
М.Ф. Решетнева (г. Красноярск)
elena.klinkovich@mail.ru

Количество фитомассы на единицу площади в момент наблюдения является запасом [2]. Это чрезвычайно важный показатель, отражающий как структуру сообщества, так и роль отдельных видов в нем, являясь универсальным критерием для сравнительной оценки структуры экосистем, а также выражает одну из сторон продукционного процесса [6].

Фактический материал по запасам фитомассы растительности важен для познания закономерностей формирования растительного покрова не только исследуемого региона, но и гораздо больших территорий [5].

Целью работы является определение запаса травянистых растений живого напочвенного покрова хребта Гремячей гривы г. Красноярск. Задачи:

- закладка 11 пробных площадей на хребте Гремячая грива для отбора образцов фитомассы и описания живого напочвенного покрова [1];
- обработка материалов полевых исследований: определение запаса фитомассы и оценка его хозяйственной значимости.

Хребет Гремячая грива расположен в северо-западной части города Красноярск и представляет собой цепь сопок с запада на восток. Данный природный объект является излюбленным местом для отдыха горожан и поэтому подвержен рекреационным нагрузкам разной степени.

При полевых исследованиях были определены следующие параметры фитоценоза: степень проективного покрытия, задернение почвы, видовой состав растений, встречаемость видов. В результате работы было определено 73 вида травянистых растений. Для определения запаса, собранная фитомасса взвешивалась, высушивалась и снова проходила этап взвешивания.

На рисунке 1 можно наблюдать соотношение запасов с их хозяйственной значимостью. Наибольший запас имеют лекарственные (аконит бородачатый, прострел многонадрезанный, бубенчик узковетковый и др.), декоративные (кандык сибирский, очитник видный и пр.), медоносные (клевер люпиновый, зопник клубненосный и др.) и исчезающие (горошек однопарный, полынь ползучая) растения. Наименьшее распространение имеет фитомасса кормовых (горошек приятный, подмаренник настоящий и пр.) и пищевых (колокольчик сибирский, касатик русский и др.) продуцентов.

Самые низкие показатели запаса имеют ядовитые (прострел многонадрезанный, крестовник Якова), технические (астрагал донниковый, полынь холодная) и сорные (осот полевой, бодяк обыкновенный) растения.

Таким образом, в результате работы определён запас травянистых растений хребта Гремячая грива г. Красноярск. По его показателям лидируют такие виды как: кандык сибирский (7,93 т/га), горошек приятный (1,94 т/га), прострел многонадрезанный (1,34 т/га). Параметры запаса оказались низкими. Это обусловлено экстремальными условиями произрастания данной растительности, так как пробные площади располагаются на южном склоне верхней подошвы хребта с ярко выраженным эрозионным состоянием почв из-за рекреации и высокой крутизны склона. За счет этого, почвы в данной местности являются маломощными с низким содержанием гумуса.

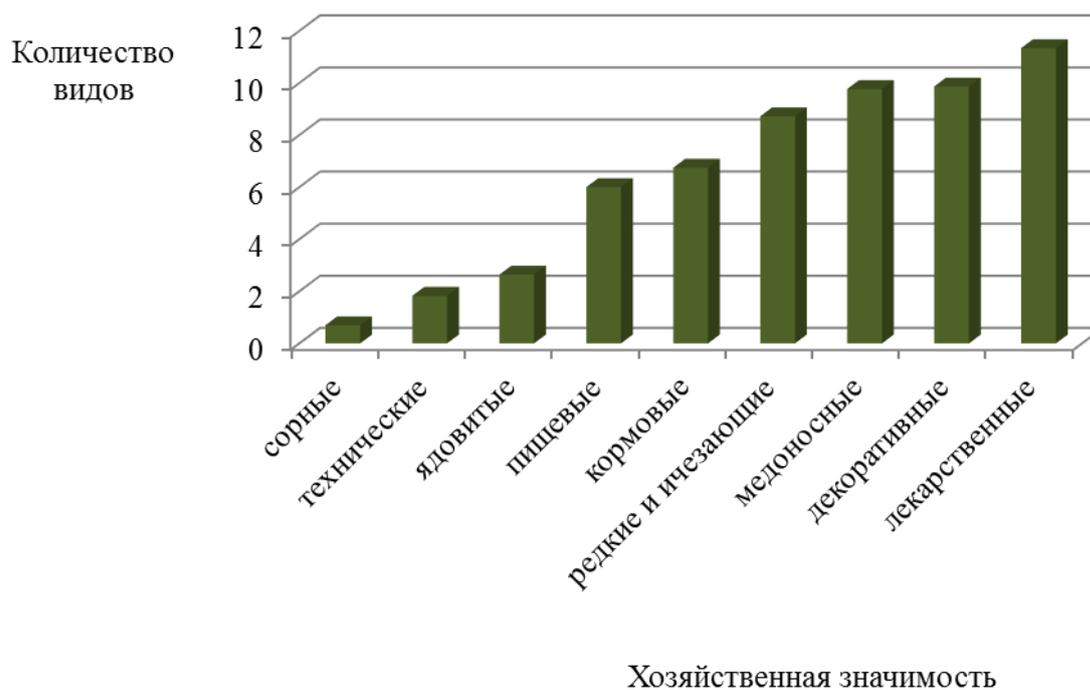


Рисунок 1. Запас сухой фитомассы хребта Гремячая грива по хозяйственной значимости.

1. Иншаков, Е. М. Изучение живого напочвенного покрова и ресурсов дикорастущих лекарственных растений / Е. М. Иншаков, Л. Н. Сунцова. – Красноярск: СибГУ, 2017. – 27 с.
2. Миркин, Б. М. Словарь понятий и терминов современной фитоценологии / Б. М. Миркин. – М: АН СССР, Урал. отд-ние, Башк. науч. центр, Ин-т биологии, 1989. – 223 с.
3. Определитель растений республики Тыва / И. М. Красноборов [и др.] – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2007. – 706 с.
4. Определитель растений юга Красноярского края / М. И. Беглянова [и др.] – Новосибирск: СО Наука, 1979. – 669 с.
5. Седельников В.П. Высокогорная растительность Алтае-Саянской горной области – Новосибирск: Наука, 1988. – 223 с.
6. Титлянова А.А., Миронычева-Токарева Н.П., Романова И.П. и др. Продуктивность степей // Степи Центральной Азии. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2002.– С. 9–165.

ГИДРОЛОГО-КЛИМАТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ИЗМЕНЕНИЙ В ТАЁЖНЫХ ЛАНДШАФТАХ

Копысов С.Г.

Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН (г. Томск)
wosypok@mail.ru

Исследование гидролого-климатических ресурсов на юге таёжной зоны Западной Сибири показали, что режим увлажнения территории формируется при определенных ландшафтных особенностях под воздействием теплоэнергетических ресурсов климата и атмосферных осадков, что необходимо учитывать при разработке различного типа прогнозов. Переход от климатических показателей, полученных согласно конкретным сценариям изменения климата [1], к гидрологическим характеристикам с помощью моделей баланса тепла и влаги (метода гидролого-климатических расчётов) позволил получить региональные прогнозные оценки. На основе этой оценки гидроклиматических ресурсов мною был подготовлен краткосрочный (2021–2030 гг.) прогноз экосистемных изменений на территории Западной Сибири. Суть метода прогноза [2,3] в интеграции гидролого-климатических расчетов [4] со ступенями увлажнения (СУ) по экологической шкале Л.Г. Раменского [5], характеризующие условия местообитания по составу растительных сообществ.

Полученные результаты отражают тенденции изменения почвенного растительного покрова на разных территориях, наибольшие прогнозируемые изменения dCV на рисунке 1 показаны цифрами. Прогнозируемые изменения не выходят за пределы современных границ местообитаний по фактору увлажнения – сыролуговой на юго-востоке и болотно-луговой на севере.

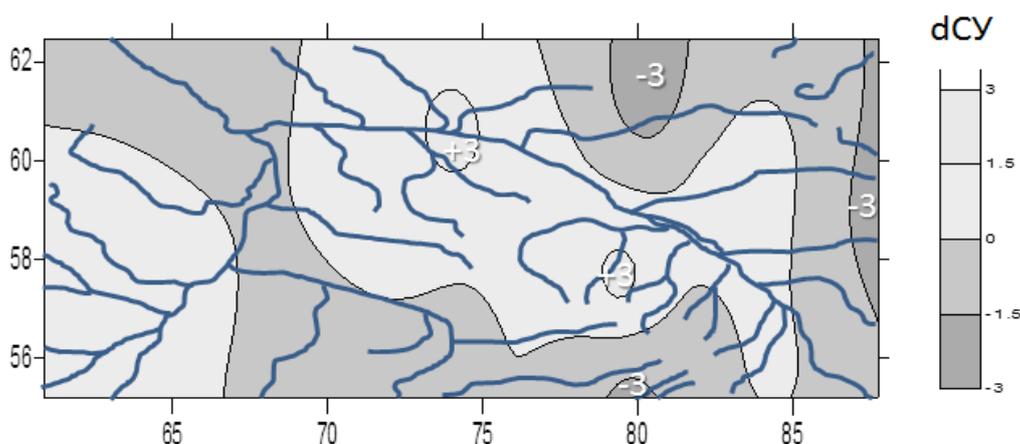


Рисунок 1. Карта-схема ожидаемого изменения типа почвенного растительного покрова в период (2021-2030 гг.) на дренированных территориях

Оценка гидроклиматических ресурсов за базовый (1966–1985), современный (1986–2015) и прогнозный (2021–2030 гг.) периоды [1], позволили нам рассчитать изменение условий увлажнения и соответственно растительного покрова в лесных экосистемах Западной Сибири (рисунок 1). Прогнозируемые изменения (dCV) будут иметь следующие последствия:

1) Отрицательные значения dCV на переувлажненных территориях ($СУ > 76$) указывают на тенденции роста биопродуктивности, а на территориях с недостаточным увлажнением ($СУ < 63$), наоборот, на тенденции снижения биопродуктивности.

2) Положительные значения dCV на переувлажненных территориях указывают на тенденции снижения биопродуктивности и активизации процессов гидроморфной трансформации.

ции экосистем, а на территориях с недостаточным увлажнением на повышение биопродуктивности.

В годовом разрезе с 1936 по 2017 гг. по данным ГМС Томск виден небольшой тренд на увеличение осадков по сравнению с теплоэнергетическими ресурсами испарения (испаряемостью). Однако, расчётная влажность деятельного слоя за вегетационный период не показывает тренда, что говорит о региональной стабильности климатических условий для вегетации растительности.

Прогнозная оценка отражает тенденции изменения растительного покрова на разных территориях, но расчетная амплитуда (dCV) в заданный промежуток времени не выходит за пределы современных границ растительного покрова по фактору увлажнения.

Результаты полевых исследований [3] показывают, что возможная структура растительных сообществ, по причине существенных колебаний увлажненности деятельного слоя от года к году, может существенно меняться, что особенно заметно на экотонах. Однако, для полной смены растительных сообществ требуется длительное многолетнее однонаправленное изменение коэффициента увлажнения, а этого ввиду цикличности климатических изменений не происходит. Поэтому можно говорить о высокой буферности экосистем бореальной зоны Западной Сибири к климатическим изменениям на ближайшее десятилетие (2021-2030 гг.).

1. Паромов В.В., Земцов В.А., Копысов С.Г. Климат Западной Сибири в фазу замедления потепления (1986–2015 гг.) и прогнозирование гидроклиматических ресурсов на 2021-2030 гг. // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2017. – Т. 328. – № 1. – С. 62-74.

2. Ерофеев А.А., Копысов С.Г., Никифоров А.Н. Ландшафтно-геофизический подход к зонированию структуры землепользования на малом водосборе // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2018. – Т. 329. – № 6. – С. 39-47. bulletin_tpu-2018-v329-i6-04.pdf.

3. Kopysov S.G., Chernova N.A., Klimova N.V. Validation of vegetation type modeling at a local level using a moisture scale // IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science. – 2018. – Vol. 211, № 012032. – P. 1-5.

4. Мезенцев В.С., Карнацевич И.В. Увлажненность Западно-Сибирской равнины. – Л.: Гидрометеоздат, 1969. – 168 с.

5. Раменский Л.Г. Проблемы и методы изучения растительного покрова. Избранные работы. – Л.: Наука, 1971. – 334 с.

СОВРЕМЕННАЯ ДИНАМИКА ЭКОСИСТЕМНЫХ ПРОЦЕССОВ В ЗОНЕ ДЕЙСТВИЯ ТОМСКОГО ВОДОЗАБОРА

Копысов С.Г., Чернова Н.А., Климова Н.В., Дюкарев А.Г.

Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН (г. Томск)
wosypok@mail.ru

В бореальной зоне обсыхание территории обычно не включается в число негативных явлений [1]. В связи с деятельностью городского водозабора на Обь-Томском междуречье необходимо знать его влияние на состояние природной среды и каков прогноз дальнейшего развития экосистем.

В основе исследования лежит концепция об экотонах как о первоочередных объектах изучения воздействия человека на природу [2]. Объективно индицировать иссушение может оценка состояния экотопов по растительному покрову [3], основанная на том, что каждый вид растений имеет свой диапазон оптимального развития по каждому фактору среды обитания, выражаемый в баллах (ступенях) на экологической шкале соответствующего фактора.

Для экологических прогнозов традиционно используют коэффициенты увлажнения, но гораздо более эффективны оценки на основе моделирования элементов водного баланса. Так интеграция метода гидролого-климатических расчетов и фитоиндикационного метода Л.Г. Раменского, в сочетании с современными методами дистанционного зондирования и возможностями общедоступных ГИС, позволяет количественно моделировать изменение условий местообитания [4,5].

В настоящее время ландшафты ложбин древнего стока в зоне, примыкающей к первой очереди водозабора, относятся к категории сильно трансформированных. Биоценотический механизм адаптации экосистем к внешним воздействиям проявляется в пространственно-временной динамике растительного покрова и хорошо виден на исследованном в 2000 и 2018 годах ландшафтно-экологическом профиле-трансекте.

Фитоценотические ряды по градиенту увлажнения от автоморфных грив до небольших автономных болотных массивов изменяются в зависимости от степени обсыхания территории (влияет на отражательную способность), положения в рельефе и мощности торфяной залежи. Высокая фильтрационная и низкая водоудерживающая способность песков обеспечивают стабильность гидрологических условий местоположений с атмосферным типом водного питания – на гривах. В произрастающих здесь сосняках зеленомошных и кустарничково-зеленомошных признаков обсыхания не выявлено. В межгривных понижениях, ложбинах и долинах условия водного питания определяются гидравлической связью с грунтовыми водами или сформировавшимся за 3-5 тыс. лет горизонтом болотных вод. Стабильность водного режима болот, как и ландшафта в целом, определяется мощностью накопленного торфа. На болотах с мощной торфяной залежью (3-5 м) обсыхание проявилось только по периферии, где кустарничково-сфагновые рямы сменились кустарничково-зеленомошными рослыми рямами. В то же время небольшие по площади торфяники с мощностью торфа до 2 метров оказались не способны противостоять протекающим на территории трансформациям гидрологического режима. В результате на месте топяных фитоценозов сформировались сосново-березовые и березово-сосновые леса мертвопокровные, или на отдельных участках мертвопокровно-моховые. Сильное иссушение препятствует формированию в них сомкнутого напочвенного покрова. Мониторинговые исследования показали постепенное зарастание бывших топей по периферии вейником.

Важной причиной экосистемных изменений является динамика гидротермического режима. В период с 1936 по 2017 гг. по ГМС Томск отмечается незначительный тренд на увеличение осадков по сравнению с теплоэнергетическими ресурсами испарения (испаряемостью). Увеличение осадков более характерно для зимнего периода и в дальнейшем способствует росту половодья, поэтому влажность деятельного слоя за вегетационный период май-август не отражает этот тренд, что говорит о стабильности климатических условий для веге-

тации растительности в многолетнем разрезе. Для полной смены растительных сообществ требуется длительное многолетнее однонаправленное изменение коэффициента увлажнения, а этого ввиду цикличности климатических условий не происходит. К таким же выводам приходят в статье [6], где показано отсутствие достоверного климатического тренда коэффициента увлажнения, а также получены разнонаправленные линейные тренды характеристик естественного увлажнения и теплообеспеченности, которые дают право сомневаться в однонаправленности климатического процесса в последние десятилетия. Поэтому, можно утверждать, что выявленная на Обь-Томском междуречье динамика растительности обусловлена антропогенным обсыханием и соответствующими изменениями условий произрастания.

Ранее [1] предполагалось, что при сохранении действующих объемов водопотребления деградационные процессы в зоне действия Томского водозабора на Обь-Томском междуречье будут охватывать все новые территории, отдельные очаги трансформаций будут сливаться в единый массив. Однако, наши последние исследования выявили гораздо более высокую устойчивость экосистем к обсыханию, чем ожидалось. Механизм повышенной устойчивости экосистем кроется в соответствующих преобразованиях почвенного покрова и наглядно проявляется в организации структуры растительного покрова. Также положительно сказалось сокращение ежесуточного водоотбора подземных вод с 250 до 150 тыс. м³ в сутки и повышенная водность последних лет.

Работа выполнена при поддержке комплексной программы фундаментальных исследований СО РАН «Междисциплинарные интеграционные исследования на 2018-2020 гг.» проект №0369-2018-0012 «Взаимосвязь климатических и экосистемных процессов на территории лесоболотных комплексов Западной Сибири».

1. Дюкарев А.Г., Пологова Н.Н. Состояние природной среды в зоне действия Томского водозабора // Сибирский экологический журнал – 2011. – №1. – С. 123-134.

2. Коломыц Э.Г. Избранные очерки географической экологии: Часть I. Базовый ландшафтно-экологический анализ // Самарская Лука: Проблемы региональной и глобальной экологии. – 2018. – Т. 27. – № 1. – С. 15-129.

3. Раменский Л.Г. Проблемы и методы изучения растительного покрова. Избранные работы. – Л.: Наука, 1971. – 334 с.

4. Kopysov S.G., Chernova N.A., Klimova N.V. Validation of vegetation type modeling at a local level using a moisture scale // 2018 IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. 211 012032; doi:10.1088/1755-1315/211/1/012032.

5. Ерофеев А.А., Копысов С.Г., Никифоров А.Н. Ландшафтно-геофизический подход к зонированию структуры землепользования на малом водосборе // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2018. – Т. 329. – № 6. – С. 39-47.

6. Березин Л.В., Мезенцева О.В., Карнацевич И.В. Исследования пространственно-временной динамики характеристик естественной тепловлагообеспеченности Западной Сибири и вопросы устойчивости развития сельского хозяйства // Вестник Томского государственного университета – 2010. – №331. – С. 210-212.

АДАПТАЦИЯ МОДЕЛЕЙ ТРАНСФЕРНОЙ ФУНКЦИИ, ОСНОВАННЫХ НА ДАННЫХ РИЗОПОДНОГО АНАЛИЗА, ДЛЯ РЕКОНСТРУКЦИИ ГЛУБИНЫ УРОВНЯ БОЛОТНЫХ ВОД НА НИЗИННОЙ И ПЕРЕХОДНОЙ СТАДИИ РАЗВИТИЯ ВЕРХОВОГО БОЛОТА

Курьина И.В.

Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН (г. Томск)
irina.kuryina@yandex.ru

Наше исследование посвящено решению задачи максимально точно и реалистично реконструировать глубину уровня болотных вод на верховом болоте в процессе развития его торфяной залежи в голоцене. Для количественной реконструкции глубины уровня болотных вод мы использовали разные модели трансферных функций, основанные на данных ризоподного анализа торфа. Данный метод реконструкции успешно применяется на верховых болотах в разных уголках земного шара уже около двадцати пяти лет, начиная с 1994 года [1]. Однако важно отметить, что реконструкция уровня болотных вод (УБВ) проводится только для слоя торфа, соответствующего верховой стадии развития болота, и не включает обычно нижележащие слои торфа, соответствующие начальным стадиям (низинной и переходной). Правомерно ли для этих стадий применять модель трансферной функции, разработанную на обучающей выборке из верховых болот? Поиск ответа на этот вопрос был положен в основу нашей работы. Успешное решение поставленной задачи позволит нам заметно расширить временной отрезок для количественной реконструкции УБВ на болоте в голоцене.

Объектом для исследования выбрано водораздельное верховое болото Бакчарское, расположенное в пределах южнотаежной подзоны Западной Сибири, в Бакчарском районе Томской области. На болоте отобрана торфяная колонка в центре мочажины олиготрофного грядово-мочажинного комплекса, мощность торфяной залежи в точке бурения составила 290 см. Верхняя часть залежи (0-150 см) соответствует верховой стадии развития болота, а нижняя (150-290 см) – переходной и низинной стадиям. В 14 образцах торфа из нижней части колонки, взятых с шагом 10 см, проведен ризоподный анализ по стандартной методике [2]. Для реконструкции глубины уровня болотных вод использованы две модели трансферных функций, разработанные ранее [3] на болотах южной тайги Западной Сибири, одна из которых основана на обучающей выборке из верховых болот, а другая – на выборке из низинных и переходных болот.

Результаты реконструкции УБВ в двух вариантах расчетов для начальных стадий развития верхового болота оказались разными (рис. 1). Разность в значениях УБВ, полученных двумя моделями, варьирует и в отдельных образцах торфа достигает 39 см. Динамика реконструированного УБВ также различается по данным двух моделей. Основная причина установленных различий связана с тем, что используемые виды биоиндикаторов, способные населять как верховые, так и низинные и переходные болота, имеют разные оптимумы по УБВ на болотах разного типа [3]. Поэтому одни и те же биоиндикаторы, обнаруженные в торфе, могут при использовании одной модели трансферной функции указывать на повышенное обводнение среды, а при использовании другой модели – отражать обсыхание. Второй причиной различий реконструированного УБВ является то, что в модели трансферной функции, основанной на верховых болотах, не учитываются виды биоиндикаторов, которые встречаются исключительно на переходных и низинных болотах и были обнаружены в торфе нижней части исследованной торфяной колонки. Зато они учитываются в модели, основанной на данных низинных и переходных болот.

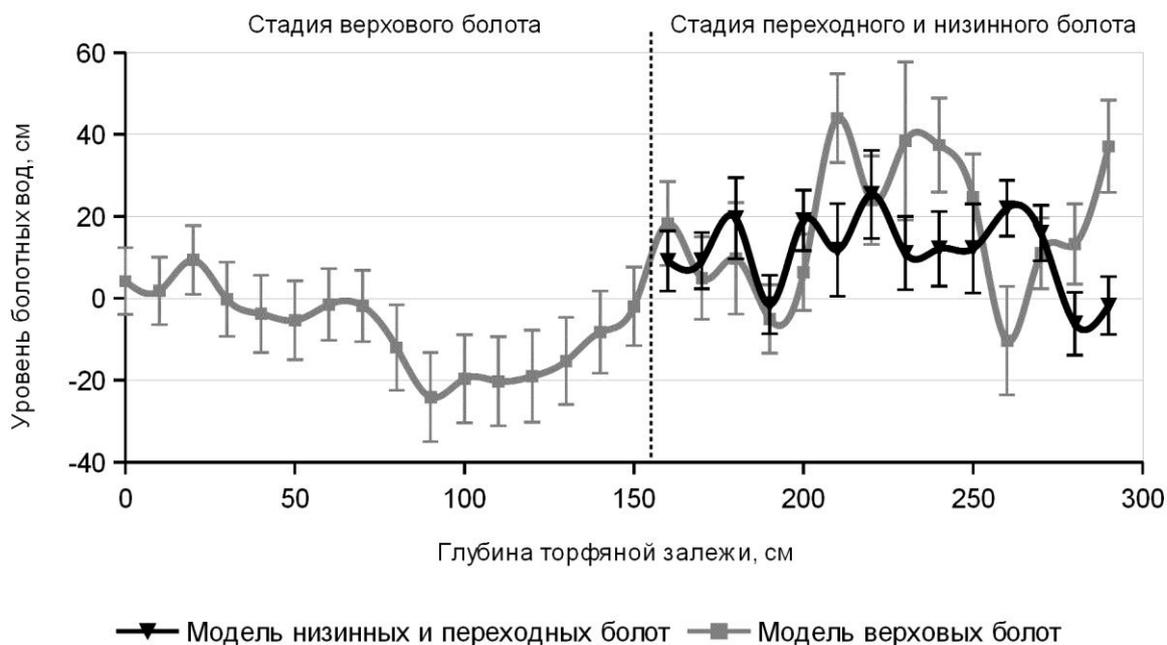


Рисунок 1. Реконструкция глубины уровня болотных вод в торфяной колонке верхового болота при помощи разных моделей трансферных функций. Вертикальные отрезки отражают погрешность реконструированного УБВ, рассчитанную методом бутстрепа ($n = 1000$ циклов).

Проведенное исследование выявило значительные различия в динамике и значениях реконструированной глубины уровня болотных вод на начальных стадиях развития верхового болота в голоцене при использовании в расчетах моделей трансферной функции, основанных на обучающей выборке из верховых болот и на выборке из переходных и низинных болот. Мы не можем доказать математически, какой вариант расчетов реконструированного УБВ ближе к реально существовавшему. Однако, исходя из того, что на исследованном болоте на первых этапах его развития условия среды соответствовали низинному и переходному типу, нами предложено на этих этапах применять в реконструкции уровня болотных вод модель трансферной функции, основанную на выборке из низинных и переходных болот, а при выходе болота на верховую стадию развития – применять другую модель трансферной функции, основанную на выборке из верховых болот. Мы также считаем важным подчеркнуть, что применение модели трансферной функции, основанной на данных верховых болот, для низинной и переходной стадий развития болота приводит к сильно отличающимся результатам реконструкции УБВ, по сравнению с использованием модели, основанной на низинных и переходных болотах.

1. Warner B.G., Charman D.J. Holocene changes on a peatland in northwestern Ontario interpreted from testate amoebae (*Protozoa*) analysis // *Boreas*. 1994. 23. P. 270–279.
2. Hendon D., Charman D.J. The preparation of testate amoebae (*Protozoa*: *Rhizopoda*) samples from peat // *The Holocene*. 1997. 7(2). P. 199–205.
3. Kurina I.V., Li H. Why do testate amoeba optima related to water table depth vary? // *Microbial Ecology*. 2019. 77. P. 37–55.

ЗАВИСИМОСТЬ ФУНКЦИИ ТЕМПЕРАТУРОПРОВОДНОСТИ ОТ ТЕМПЕРАТУРЫ ПОЧВЫ НА ПРИМЕРЕ ПЕСЧАНЫХ ОТЛОЖЕНИЙ МАССИВА БАДАР (ТУНКИНСКАЯ КОТЛОВИНА)

Лапина Л.Э.¹, Воронай Н.Н.^{2,3}

¹ Институт водных проблем РАН (г. Москва)

² Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН (г. Томск)

³ Институт географии им. В.Б. Сочавы СО РАН (г. Иркутск)

lapina@yandex.ru

Пампинг-эффект возникает в краевых задачах для нелинейного параболического уравнения типа теплопроводности с периодическими граничными условиями. Суть этого эффекта заключается в том, что чисто гармоническое колебание изучаемой характеристики среды на границе области приводит к увеличению или уменьшению ее значения внутри области относительно ее среднего значения на границе. Теорема, на основе которой рассчитывается этот эффект, приведена в работе [1]. В работе [2] показано на основе функции теплопроводности для льда, что этот эффект для Якутска приводит к охлаждению почвы на 1,5-2 градуса. В почвах этот эффект еще не изучался, в том числе и потому, что для почв функция теплопроводности в широком диапазоне температур неизвестна. Возможно, для этого придется использовать новые методы расчета коэффициента теплопроводности, как сделано в работе [3] или с использованием широко известных формул расчета коэффициента теплопроводности как сделано в работе [4] для различных ландшафтных условий Большеземельской тундры. Таким образом, поиск функции теплопроводности в зависимости от температуры почвы является ключевой проблемой для изучения этого эффекта.

Использовались данные измерений температуры почвы на различных точках осушенного болота и точки в естественном состоянии, сначала рассчитывались амплитуды годовых колебаний, затем использовались осредненный помесячно суточный ход температуры. Рассчитывались до глубин 60см амплитуды колебаний, среднесуточные температуры и соответствующий коэффициент теплопроводности по формуле (1) для каждого слоя

$$K_T = \frac{\pi (z_2 - z_1)^2}{24 \ln^2 \left(\frac{A(z_1)}{A(z_2)} \right)} \quad (1)$$

К полученному значению приписывалась температура верхнего слоя. Таким образом получили некоторый набор значений температур и коэффициента теплопроводности. К сожалению, формула (1) асимптотически неверна, т.е. на больших глубинах дает недостоверные значения, т.е. область ее применения весьма узкая. Далее для полученного набора данных методом наименьших квадратов искались линейная зависимость и квадратичная зависимость от температуры. Для оценки эффекта выбиралась наилучшая аппроксимация. Во многих случаях квадратичная аппроксимация оказывалась точнее линейной. Эффект считался по формуле, представленной в работе [1].

К сожалению, были данные лишь по одному участку в течение 3 лет. Также, как и для болота, одной из проблем являлось исключение сомнительных данных в аппроксимации значений.

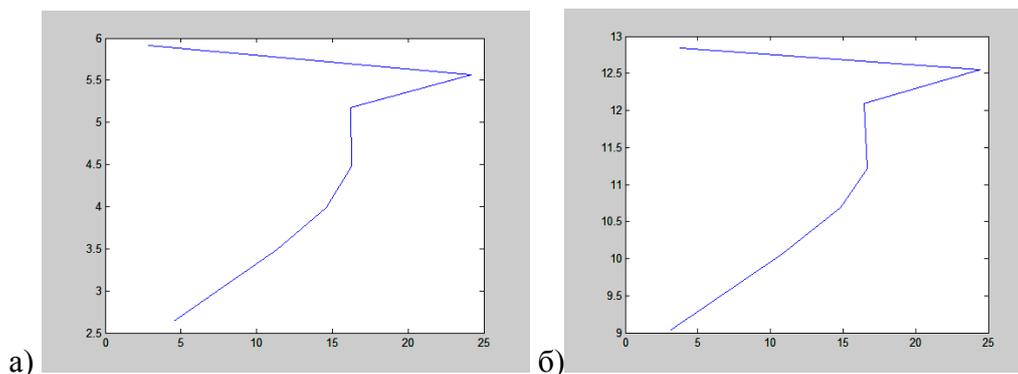


Рисунок 1. График коэффициента температуропроводности в мае 2012 г. (а) и июне 2012 г. (б).

Ввиду малости амплитуд суточных колебаний температуры, пампинг-эффект, связанный с суточными колебаниями, практически отсутствовал. Необходим более широкий круг функций для описания наилучшим образом функции температуропроводности. Пиковые значения коэффициента температуропроводности в верхних слоях почвы не являются случайной ошибкой, и скорее всего обусловлены высоким градиентом температуры в верхних слоях почвы. Вряд ли в лабораторных условиях возможно создать такой градиент температуры, который реально наблюдается в натуральных условиях. Также для получения зависимости не только помесечно, но и для широкого диапазона температур, необходимо использовать другую методику расчета, например, как в работе [4].

1. Зырянов В.Н., Хублярян М.Г. Пампинг-эффект в теории нелинейных процессов типа уравнения теплопроводности и его приложения в геофизике // Доклады АН, 2006, т.408, N4, с.535-538.

2. Зырянов В.Н. Нелинейный пампинг-эффект в колебательных процессах в геофизике // Водные ресурсы, 2013, т.40, N3, с. 227-239.

3. Лапина Л.Э. Метод вычисления коэффициента эффективной температуропроводности по данным измерений температуры почвы // Известия Коми научного центра УрО РАН, N2(30), 2017, с.12-15.

4. Лапина Л.Э. Зависимость коэффициента температуропроводности от температуры среды // Сборник научных трудов Международной научной конференции, посвященной 90-летию со дня рождения Анатолия Даниловича Воронина: «Фундаментальные концепции физики почв: развитие, современные приложения и перспективы», Москва, 27–30 мая, 2019: сборник трудов, [электронное издание сетевого распространения]. – М.: «КДУ», «Добросвет», 2019. – 795 с. – ISBN 978-5-7913-1108-5. – <https://doi.org/10.31453/kdu.ru.91304.0065>. – URL: <https://bookonlime.ru/node/4660>.

ОЦЕНКА ПАМПИНГ-ЭФФЕКТА НА ПРИМЕРЕ БОЛОТА ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

Лапина Л.Э.¹, Дюкарев Е.А.^{2,3}

¹ Институт водных проблем РАН (г. Москва)

² Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН (г. Томск)

³ Югорский государственный университет (г. Ханты-Мансийск)

lapina@yandex.ru

Пампинг-эффект возникает в краевых задачах для нелинейного параболического уравнения типа теплопроводности с периодическими граничными условиями. Суть этого эффекта заключается в том, что чисто гармоническое колебание изучаемой характеристики среды на границе области приводит к увеличению или уменьшению ее значения внутри области относительно ее среднего значения на границе. Пампинг-эффект изучается в основном в задачах океанологии и устьевых областях рек. Обзор можно найти в работе [1]. На основе достаточно сложных расчетов показано [2], что повышение амплитуды колебаний поверхности океана приводит к охлаждению глубинных слоев Мирового океана, причем этот эффект в работе [1] отмечен для озера Байкал на основе наблюдений. Теорема, на основе которой рассчитывается этот эффект, приведена в работе [3]. В работе [4] показано на основе функции температуропроводности для льда, что этот эффект для Якутска приводит к охлаждению почвы на 1,5-2 градуса. В почвах этот эффект еще не изучался, в том числе и потому, что для почв функции температуропроводности в широком диапазоне температур неизвестны. Возможно, для этого придется использовать новые методы расчёта коэффициента температуропроводности, как сделано в работе [5].

Использовались данные измерений температуры почвы на различных точках осушенного болота и болота в естественном состоянии, сначала рассчитывались амплитуды годовых колебаний, затем использовались осредненный помесячно суточный ход температуры. До глубины 60 см рассчитывались амплитуды колебаний, среднесуточные температуры и соответствующий коэффициент температуропроводности по формуле (1) для каждого слоя

$$K_T = \frac{\pi (z_2 - z_1)^2}{24 \ln^2 \left(\frac{A(z_1)}{A(z_2)} \right)} \quad (1)$$

К полученному значению приписывалась температура верхнего слоя. Таким образом получили некоторый набор значений температур и коэффициента температуропроводности. Оказалось, что линейная аппроксимация зависимости температуропроводности от температуры наилучшим образом описывает на глубинах 10-40 см, параболическая зависимость - на глубинах 0-10 см. Для такого случая теория пампинг-эффекта еще не разработана, поэтому приходилось использовать линейную аппроксимацию в разных комбинациях, выбирать наилучшую в смысле наименьшей ошибки представления и оценивать изучаемый эффект.

Рассматривается дифференциальное уравнение

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \left(K(T) \frac{\partial T}{\partial z} \right), \quad (2)$$

где T - температура почвы ($^{\circ}\text{C}$), $K(T)$ - функция температуропроводности почвы, зависящая только от T , ось z направлена вниз, $z=0$ - поверхность почвы. Рассматривается периодическая задача на полупрямой $z>0$ с граничными условиями

$$T|_{z=0} = f(t), \quad T|_{z \rightarrow \infty} = C < \infty \quad (3)$$

$f(t)$ - периодическая функция с периодом τ . Обычно $f(t)$ имеет вид:

$$f(t) = T_0 + T_1 \cos(\omega t) \quad (4)$$

Как доказано в работе [3] периодическое решение уравнения (2) с граничными условиями (3), (4) стремится при $z \rightarrow \infty$ к константе T^{∞} :

$$T^{\infty} = \Psi^{-1}[\langle \Psi(f(t)) \rangle] \quad (5)$$

$$\Psi(T) = \int K(T) dT \quad (6)$$

Разность $T^\infty - T_0$ - количественная оценка пампинг-эффекта. На бесконечности выполняется равенство $\Psi(T^\infty) = \langle \Psi(f(t)) \rangle$

Эффект считался по формуле, представленной в работе [3]. Эффект оценивался как разность между корнем уравнения $\Psi(T^\infty) = \langle \Psi(f(t)) \rangle$ и средней суточной температурой на поверхности почвы.

Расчет амплитуд годовых колебаний показал, что температура на осушенных участках болот ниже там, где амплитуда выше, что может быть объяснено влиянием именно этого эффекта, а также на естественном болоте самая большая амплитуда годовых колебаний. Пампинг-эффект в почвах может иметь разные знаки, в зависимости от характера функции температуропроводности. Предположительно, имеет отрицательное значение для болот, т.е. чем больше амплитуда колебаний на поверхности почвы, тем ниже температура почвы.

Также результаты показали, что в зимний период, пампинг-эффект, связанный с суточными колебаниями температуры, отсутствует ввиду отсутствия колебаний, но есть эффект, связанный с амплитудой годовых колебаний и учитывая, результаты работы [6], можно предположить, что он по вкладу будет больше. Для летнего периода эффект, связанный с суточными колебаниями, имеет положительное значение, т.е. чем больше амплитуда колебаний, тем больше тепла закачивается в нижележащие слои. Также получено, что значение этого эффекта сильно зависит от функции температуропроводности. В данной работе использовалась лишь линейная и квадратичная зависимость от температуры, но возможно, следует искать другой вид зависимости.

1. Зырянов В.Н. Нелинейная волновая диффузия в геосредах: пампинг-эффект // Избранные труды Института водных проблем РАН, 2017, т.2., с.125-161.

2. Зырянов В.Н. Антипотепление глубинных слоев Мирового океана // Океанология, 2007, т.47, N5, с. 666-673.

3. Зырянов В.Н., Хублярян М.Г. Пампинг-эффект в теории нелинейных процессов типа уравнения теплопроводности и его приложения в геофизике // Доклады АН, 2006, т.408, N4, с. 535-538.

4. Зырянов В.Н. Нелинейный пампинг-эффект в колебательных процессах в геофизике // Водные ресурсы, 2013, т.40, N3, с. 227-239.

5. Лапина Л.Э. Метод вычисления коэффициента эффективной температуропроводности по данным измерений температуры почвы // Известия Коми научного центра УрО РАН, N2(30), 2017, с.12-15.

6. Лапина Л.Э. Зависимость коэффициента температуропроводности от температуры среды // Сборник научных трудов Международной научной конференции, посвященной 90-летию со дня рождения Анатолия Даниловича Воронина: «Фундаментальные концепции физики почв: развитие, современные приложения и перспективы», Москва, 27–30 мая, 2019: сборник трудов, [электронное издание сетевого распространения]. – М.: «КДУ», «Добросвет», 2019. – 795 с. – ISBN 978-5-7913-1108-5. – <https://doi.org/10.31453/kdu.ru.91304.0065>. – URL: <https://bookonlime.ru/node/4660>.

ИЗУЧЕНИЕ ТРОФИЧЕСКОГО СТАТУСА ОЗЕРА БАЙКАЛ В ГЛУБОКОВОДНОЙ ЧАСТИ ОЗЕРА И МЕЛКОВОДНЫХ ЗАЛИВАХ

Ленько О.А.¹, Тихонова И.В.², Белых О.И.², Спицына Т.П.¹

¹ Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнева (г. Красноярск)

² Лимнологический институт СО РАН (г. Иркутск)
Olgosha170397@mail.ru

Целью данной работы является изучение трофического статуса озера Байкал. Задачи: а) выявление роли пикоцианобактерий в экосистеме Байкала; б) установление его трофического статуса.

Объектами исследования являются хлорофилл *a* и один из первичных продуцентов – автотрофный пикопланктон. Методы исследования – флуоресцентная микроскопия (Zeiss M1 Axio Imager).

Концентрация хлорофилла отражает продуктивность водоема.

В ходе работы летом 2018 года Лимнологическим институтом СО РАН (г. Иркутск) были проанализированы образцы воды на содержание хлорофилла *a*. Отбор воды производился на станциях Листвянка-Танхой и Малое Море центр (глубоководная часть озера) и на станциях мелководного залива Мухор (Мухор-центр, бухта Зуун Хагун, устье реки Кучелга). Его содержание в планктоне озера является довольно информативным показателем. Информация о концентрации хлорофилла *a* и её изменчивости в водном объекте служит критерием при оценке запасов биомассы фитопланктона. Из полученных результатов следует, что концентрация хлорофилла *a* на глубине от 0 до 50 м в Среднем Байкале (Малое Море) варьировала от 2,36 до 2,48 мкг/л. В Южном же Байкале (Листвянка – Танхой) концентрация хлорофилла *a* на глубине от 0 до 50 м изменялась от 2,19 до 2,56 мкг/л. В поверхностном слое воды на мелководных станциях концентрация хлорофилла *a* распределялась следующим образом: Мухор центр – 5,56 мкг/л, бухта Зуун-Хагун – 2,79 мкг/л, в устье реки Кучелга – 4,53 мкг/л.

Полученные данные на глубоководных станциях находятся в одном пределе. В мелководной же части наблюдается увеличение показателя хлорофилла *a*. Такие значения концентрации характерны для мелководных, хорошо прогреваемых частей Байкала или же для мест, приуроченных к туристическим базам и, как следствие, терпящим высокую рекреационную нагрузку.

Также были исследованы пробы воды на содержание в ней пикоцианобактерий – основных первичных продуцентов байкальских вод.

Для установления пространственного распределения пикоцианобактерий пробы отбирались на глубине 0-50 м на глубоководных станциях Листвянка-Танхой и центр Малого моря, в заливе Мухор брали только поверхностные пробы ввиду небольшой глубины залива.

Исследование вертикальной динамики пикопланктона показало следующее:

– на станции Листвянка – Танхой наибольшая численность автотрофного пикопланктона наблюдалась на глубинах 0 и 5 м – соответственно $6,70 \cdot 10^5$ и $8,30 \cdot 10^5$ кл/мл. Наименьшее число автотрофов было выявлено на глубине 50 м и равно $3,66 \cdot 10^5$ кл/мл;

– на станции Малое море центр наибольшее число пикоцианобактерий наблюдалось на глубинах 5 и 10 м, $4,98 \cdot 10^5$ и $5,73 \cdot 10^5$ кл/мл соответственно. Наименьшее количество автотрофов было выявлено, так же, как и на станции Листвянка – Танхой, на глубине 50 м – $1,09 \cdot 10^5$ кл/мл. Увеличение численности автотрофного пикопланктона на глубине 10 м позволяет сделать вывод о том, что эта глубина оптимальна для развития мелких фототрофов по содержанию света и биогенных элементов.

Уменьшение же численности на глубине 0 м – $2,53 \cdot 10^5$ кл/мл, объясняется негативным воздействием на пикоцианобактерии ультрафиолета (особенно это заметно на станции про-

лива Малого моря, где наблюдается наиболее высокая инсоляция), а на глубине 50 м – недостатком света и биогенных элементов.

Из-за небольшой глубины залива Мухор на станциях, принадлежащих данному заливу, рассматривалось только горизонтальное распределение автотрофного пикопланктона.

При анализе пространственного распределения (на глубине 0 м) автотрофного пикопланктона были получены следующие результаты: максимальное число пикоцианобактерий наблюдалось на станции Листвянка – Танхой и было равно $6,71 \cdot 10^5$ кл/мл, минимальная численность была выявлена на станции Мухор -2 – $2,48 \cdot 10^5$ кл/мл. В мелководном заливе Мухор на всех станциях наблюдается низкая численность пикоцианобактерий, что говорит о том, что эти бактерии характерны для олиготрофных глубоких вод.

Такая динамика характерна для озера Байкал, а результаты, полученные в 2018 году, вполне укладываются в диапазоны численности, которая наблюдалась, например, в 2000 году [1]. Увеличение или уменьшение численности автотрофного пикопланктона объясняется изменением физико-химических условий озера за определенный промежуток времени.

Пикоцианобактерии играют важную роль в формировании экосистемы Байкала, так как являются начальным звеном трофических цепей озера. Нужно отметить, что автотрофный пикопланктон представлен эндемичными видами, что позволяет ему выживать при относительно низких температурах воды и при этом создавать первичную биопroduкцию, поддерживающую жизнь вышестоящих трофических уровней.

Исходя из полученных результатов и согласно классификации трофности Винберга, можно сделать вывод о том, что озеро Байкал является олиготрофным водоемом, однако некоторые его части, в частности мелководные, можно отнести к мезотрофным водам.

Отбор проб был произведен в рамках выполнения бюджетной темы 0345-2016-0003 и проекта РФФИ 18-54-05005 Арм_a.

1. Поповская, Г. И. Этапы изучения автотрофного пикопланктона озера Байкал / Г. И. Поповская, О. И. Белых // Гидробиологический журн. – 2003. Т. 39, № 6. – С.12–15.

ОЦЕНКА АНТРОПОГЕННОЙ ДЕГРАДАЦИИ БОЛОТ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ НА ПРИМЕРЕ ВЕРХОВОГО БОЛОТА В БАССЕЙНЕ РЕКИ ГАВРИЛОВКА

Малолетко А.А., Иванова Е.С., Харанжевская Ю.А., Синюткина А.А., Гашикова Л.П.
Сибирский научно-исследовательский институт сельского хозяйства и торфа – филиал Сибирского федерального научного центра агробиотехнологий РАН (г. Томск)
maloletko.anton@yandex.ru

На территории Томской области в 1970–1980 гг. на большой площади заболоченных территорий проводилось осушение. Основной его целью являлось снижение уровня болотных вод с перспективой разработки торфяных месторождений, сельскохозяйственного использования и гидролесомелиорации. В настоящее время необходимы комплексные исследования результатов антропогенного вмешательства в болотную экосистему.

Целью исследования является оценка тренда торфонакопления Большого Васюганского болота на примере ключевого участка в бассейне реки Гавриловка. Применены методы геоинформационного анализа, полевых ландшафтных исследований, анализа архивных данных о детальной разведке торфяного месторождения (1985 г.) и данных современных полевых и лабораторных исследований (2018 г.) физико-технических характеристик торфа с применением датировок абсолютного возраста отложений.

Полевые ландшафтные исследования включали в себя проведение геоботанических описаний на точках и отбор образцов торфа по всей глубине торфяной залежи. Выбор точек полевых исследований проведен с использованием метода геоинформационного моделирования путем пространственной привязки архивных картографических материалов. Всего было выбрано 12 точек полевых исследований и соответственно организовано 12 скважин, отобрано 140 проб торфа на репрезентативных участках осушенного сосново-кустарничково-сфагнового болота. Лабораторный анализ образцов торфа включал в себя определение влажности, зольности, степени разложения и ботанического состава. Определение абсолютного возраста торфа выполнено радиоуглеродным жидкостно-сцинтилляционным методом по содержанию изотопов ^{14}C в лаборатории биоинформационных технологий Института мониторинга климатических и экологических систем Сибирского отделения Российской академии наук (г. Томск), лабораторный индекс «ИМКЭС-14С».

Определение скорости современной аккумуляции торфа проведено расчетным методом по слою торфа с повышенным значением зольности, соответствующего 1950–1960 гг. (период повышенной запыленности атмосферы) и слою с повышенным значением плотности абсолютно сухого торфа, соответствующего периоду проведения осушительной мелиорации. Создание геоинформационной базы данных включало выполнение тематического картографирования по архивным и современным данным, приведенных к единой системе координат. Проведено наполнение созданных пространственных объектов атрибутивной информацией: мощность торфяной залежи, тип и вид торфа, ботанический состав, зольность, степень разложения торфа по горизонтам торфяной залежи.

Объектом исследования является ключевой участок в пределах осушенного для лесомелиорации болота в бассейне р. Гавриловка (Бакчарский болотный массив, северо-восточный отрог Большого Васюганского болота). В начале 1980 гг. на рассматриваемой территории проведено осушение болот и заболоченных лесов с целью гидролесомелиорации. Расстояние между осушительными каналами составляет 150–160 м, планируемая ширина 1–2 м, глубина до 1 м, норма осушения 0,6 м. Анализ динамики уровней болотных вод за 2018 показал, что в сравнении с естественными участками Васюганского болота (низкий рям, бассейн р. Ключ) на участке лесомелиорации отмечаются более низкие (на 5–17 см) отметки уровней болотных вод и различия статистически достоверны. В настоящее время отмечается снижение водопропускной способности каналов вследствие их зарастания и заторфовывания. Анализ полученных результатов по 12 скважинам показал, что для большей части ключевого

участка площадью 1,2 км² за период после осушения характерно увеличение мощности торфяной залежи на 15 см, несмотря на то, что вследствие строительства осушительных каналов отмечаются более низкие уровни болотных вод. Сравнительный геоинформационный анализ архивных и современных данных показал увеличение средней мощности торфяной залежи с 2,08 до 2,16 м и увеличение мощности верхнего сфагнового горизонта на 10–20 см. Полученные данные отражают положительный тренд торфонакопления в пределах ключевого участка.

Сравнительный анализ характеристик горизонтов торфяной залежи до осушения и в период 30–40 лет после осушения показал незначительную трансформацию ботанического состава торфа в результате осушения, что выражается в появлении древесных остатков в составе сфагнового торфа в верхних горизонтах торфяной залежи отдельных скважин. Зольность верхнего горизонта не отличается между 1980 гг. и 2018 г. и в среднем составляет 4 %. Для торфяных профилей характерно увеличение зольности в слое 20–50 см в 1,5–3 раза в сравнении с нижележащим горизонтом, что соответствует горизонту, сформированному в период 1957–1963 гг. и обусловлено привнесом минеральных веществ из Казахстана в результате ветровой эрозии. Различия в степени разложения верхнего горизонта не выявлены. На глубине 20–40 см выделен горизонт, характеризующийся увеличением степени разложения в 1,5–2 раза, сформированный в первые годы после проведения осушительной мелиорации. Выше происходит уменьшение степени разложения, что свидетельствует о восстановлении болота в исходное состояние.

По результатам радиоуглеродного датирования средняя скорость торфонакопления с момента начала заболачивания до настоящего времени составляет 0,7 мм/год и изменяется от 0,35 мм/год в придонном слое, сложенном травяным переходным торфом до 10 мм/год в поверхностных слоях. В период до осушения средняя скорость аккумуляции торфа в слое 20–50 см (1960–1980 гг.) составила 5–10 мм/год. В результате проведенной осушительной мелиорации отмечено снижение скорости до 3–5 мм/год с дальнейшим увеличением до 7–10 мм/год, что отражает процесс восстановления болота к естественному состоянию. При этом отмечено продолжающееся влияние осушения, выраженное в снижении влажности верхнего слоя торфа (0–10 см) с 93,2 до 90,8 %.

Сравнительный анализ характеристик горизонтов торфяной залежи, сформированных до осушения и в период после осушения, показал положительный тренд торфонакопления в пределах осушенного участка в бассейне р. Гавриловка. Осушение сказалось на увеличении степени разложения верхнего горизонта торфа и снижении скорости аккумуляции торфа в первые годы после осушения. В настоящее время наблюдается восстановление болота и состояние, близкое к естественному, что выражается в увеличении скорости аккумуляции торфа и отсутствии значимых различий в степени разложения и ботаническом составе верхнего горизонта торфяной залежи.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-35-00376 мол_а.

ИЗОТОПНАЯ ДЕНДРОХРОНОИНДИКАЦИИ АНТРОПОГЕННЫХ ПРОЦЕССОВ В ЮЖНО-ТАЕЖНОЙ ПОДЗОНЕ ЗАПАДНО-СИБИРСКОЙ РАВНИНЫ

Маркелова А.Н., Симонова Г.В., Калашишникова Д.А., Волков Ю.В., Мелков В.Н.
Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН (г. Томск)
annanikmark@rambler.ru

Данные по изотопному составу углерода целлюлозы годовых колец деревьев широко используются для изучения природно-климатических процессов территорий различного уровня физико-географического районирования. В связи с этим актуальным является оценка степени влияния антропогенных факторов на эти данные. Цель работы – оценка влияния увеличения CO_2 в атмосфере и рубок деревьев на изотопный состав целлюлозы годовых колец деревьев в южно-таежной подзоне Западно-Сибирской равнины.

Выбрано два участка леса, расположенных на территориях с разной антропогенной нагрузкой. TMV-53 расположен в пределах территории с ограниченной хозяйственной деятельностью, представляет собой чистый одновозрастный сосняк зеленомошный. Средний возраст деревьев составляет 140 лет. Tmch-51 расположен на территории, в пределах которой разрешены работы по заготовке древесины. Он представляет собой сосняк разнотравно-зеленомошный с единичными деревьями березы и лиственницы сибирской. Сосновый древостой образован двумя поколениями деревьев, средний возраст которых составляет 210 и 90 лет.

В пределах выбранных участков леса были с 10-15 деревьев выли взяты образцы древесины сосны обыкновенной в виде кернов, по 4-8 штук с каждого дерева. В лаборатории керны были зачищены, вдоль каждого керна была определены значения ширины годовых колец с помощью измерительного комплекса LINTAB с пакетом компьютерных программ TSAP. Последовательность значений образуют индивидуальные древесно-кольцевые ряды. Для каждого участка леса наборы таких рядов были перекрестно датированы в программе COFESHA. С их помощью была восстановлена история развития древостоев. Часть кернов сосны обыкновенной, с деревьев, радиальный прирост которых происходил максимально синхронно, с участка TMV-53 и спил лиственницы сибирской с участка Tmch-51 были использованы для получения $\delta^{13}\text{C}$ -древесно-кольцевых хронологий: $\delta^{13}\text{C}$ -TMV-53 и $\delta^{13}\text{C}$ -Tmch-51. Значения $\delta^{13}\text{C}$ целлюлозы для получения хронологий были определены методом изотопной масс-спектрометрии с помощью прибора DELTA V Advantage (ТомЦКП СО РАН).

На изотопный состав углерода в целлюлозе годовых колец деревьев оказывают влияние следующие факторы: изотопный состав углерода и концентрация CO_2 в атмосфере, гидротермические условия местообитаний деревьев, а также любые внешние влияния, способные влиять на функционирование отдельных органов деревьев, особенно, кроны. Таким образом, на выбранных нами участках леса на изменения $\delta^{13}\text{C}$ значений целлюлозы древесины возможно влияние следующих антропогенных факторов: рост концентрации и изменение значений $\delta^{13}\text{C}$ CO_2 в атмосфере на обоих участках и вырубку деревьев на участке Tmch-51.

Анализ полученных $\delta^{13}\text{C}$ -хронологий показал следующие результаты.

Тренды в обеих $\delta^{13}\text{C}$ -хронологиях, соответствующие постепенному облегчению изотопного состава углерода CO_2 атмосферы начиная с 1850-х годов, явно «замаскированы» влиянием других факторов. Хронология $\delta^{13}\text{C}$ - TMV-53 показывает постепенное утяжеление изотопного состава углерода в целлюлозе и только после 1968 года значения $\delta^{13}\text{C}$ начинают падать. Хронология $\delta^{13}\text{C}$ - Tmch-51 показывает постепенное уменьшение значений $\delta^{13}\text{C}$ целлюлозы до 1950 года, затем рост до 1975 года и снова снижение. Интенсивность снижения трендов $\delta^{13}\text{C}$ -хронологий не соответствует интенсивности снижения значений $\delta^{13}\text{C}$ CO_2 атмосферы за соответствующие периоды, особенно сильно это несоответствие после 1975 года. Отметим, что после 1975 года тренды обеих хронологий параллельны. С начала 1950 –х годов происходит увеличение скорости уменьшения $\delta^{13}\text{C}$ значений атмосферного CO_2 и скоро-

сти накопления CO_2 в атмосфере. Вероятно, с 1975 года эти изменения начинают сказываться более сильно и на формировании изотопного состава целлюлозы годовичных колец на обеих участках.

Различия в поведении трендов $\delta^{13}\text{C}$ хронологий в первую очередь связаны с разной степенью антропогенной нагрузки исследуемых территорий. Согласно истории развития древостоев, в пределах участка ТМV-53 на протяжении последних 140 лет развивался без серьезных возмущений, вызванных влиянием внешних факторов. Тогда как на участке Тmch-51 за последние 200 лет обнаружены масштабные рубки в 1842-43, 1936-37, 1955-56 и выборочная в 1985-86 годах. После исключения трендов из $\delta^{13}\text{C}$ -хронологий становится заметно, что годовичные изменения $\delta^{13}\text{C}$ -значений целлюлозы происходят синхронно. Нарушение синхронности происходит через 2-3 года после вырубki деревьев, еще через 2-3 года синхронность восстанавливается.

Таким образом, наиболее сильное влияние увеличения CO_2 в атмосфере на изотопный состав целлюлозы годовичных колец деревьев на исследуемой территории прослеживается после 1975 года, тогда как до это оно почти не заметно. Изменения в структуре древостоев также могут вызывать как длительные (несколько десятков лет), так и кратковременные изменения (4-6 лет). Работа выполнена при поддержке РФФИ, проект № 16-05-00521.

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ РАЗЛИЧНЫХ АТМОСФЕРНЫХ УСЛОВИЙ НА ПОТОКИ CO₂ ДЛЯ ЛЕСНЫХ ЭКОСИСТЕМ СИБИРИ ПО ДАННЫМ МОДЕЛИРОВАНИЯ

Мартынова Ю.В.^{1,2}, Крупчатников В.Н.^{1,2,3}

¹ Сибирский региональный научно-исследовательский гидрометеорологический институт (г. Новосибирск)

² Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН (г. Томск)

³ Новосибирский государственный университет (г. Новосибирск)

FoxyJ13@gmail.com

Экосистемы территории Сибири считаются очень чувствительными к изменению климата, поскольку их существование на конкретной территории ограничено низкими температурами. Увеличение вегетационного периода и повышение температуры снижают некоторые экологические ограничения и открывают районы для вторжения растений из более низких широт. Ожидается, что местное видовое разнообразие будет увеличиваться, поскольку темпы распространения видов из низких широт в более высокие будут выше, чем темпы отмирания уже существующие на этой территории видов.

Цель работы заключается в оценке для Сибири отклика распределения лесных типов растительности и потоков углекислого газа в атмосферу на возможные в будущем климатические изменения.

Исследования отклика растительного покрова Сибири на климатические изменения проводились с помощью деятельного слоя JSBACH, разработанной в Институте Макса-Планка по метеорологии (MPI-M) [1-3]. Для задания фоновых атмосферных условий были использованы результаты численного моделирования, полученные с помощью глобальной крупномасштабной модели промежуточной сложности PLASIM [4], глобальной климатической модели INMCM4 [5] и данные реанализа ERA-Interim [6]. Глобальные изменения климата были заданы посредством климатического сценария RCP 8.5 [7].

В рамках исследования были рассмотрены лиственные и хвойные леса, для которых в условиях задаваемых климатических изменений была получена оценка характера их перераспределения по территории, количественная оценка поглощения углекислого газа из атмосферы каждым из рассмотренных типов, а также оценен общий поток CO₂ в атмосферу.

Проведенное моделирование показало расширение внетропических лесных пространств, как хвойных так и лиственных, на север рассматриваемой территории без сокращения лесной фракции на уже облесенных территориях. Наряду с географическим перераспределением различных типов растительности происходит закономерное перераспределение величины поглощения углекислого газа из атмосферы каждым из рассматриваемых типов. Для всех рассматриваемых типов получено увеличение поглощения CO₂ в тех областях, где произошло увеличение фракции растительности.

В целом, вследствие наличия большого количества растительности, на территории Сибири происходит поглощение CO₂ из атмосферы. Под воздействием задаваемого глобального потепления климата на севере Сибири и в районе Байкала в областях, где произошло увеличение фракций растительности лесной и кустарниковой происходит усиление суммарного потока углекислого газа из атмосферы в почву. Наряду с этим получено ослабление суммарного поглощения CO₂ на юге Западной Сибири у государственных границ территории и в центральной части Восточной Сибири, что может быть связано с изменением поглощающих свойств рассматриваемых растительных типов в задаваемых условиях меняющегося климата.

Внетропическая лесная растительность (как хвойная, так и лиственная) проявила высокую чувствительность к атмосферному форсингу. В заданных условиях произошло не только существенное расширение ареала произрастания этого растительного типа, но и существенное увеличение уровня поглощения CO₂ из атмосферы на всей площади, где располагается этот тип.

Исследование выполнено в рамках госбюджетной темы № АААА-А17-117013050037-0 и № АААА-А17-117022250098-1.

1. Raddatz T. J. et al.: Will the tropical land biosphere dominate the climate – carbon cycle feedback during the twenty-first century? // *Climate Dynamics*, 2007, V. 29, P. 565-574. Doi: 10.1007/s00382-007-0247-8.

2. Reick C.H. et al. JSBACH – the new land component of ECHAM / Max Planck Institute for Meteorology D-20146 Hamburg. 2011.

3. Reick, C., Raddatz, T., Brovkin, V. & Gayler, V. Representation of natural and anthropogenic land cover change in MPI-ESM. // *Journal of Advances in Modeling Earth Systems*, 2013, V. 5, P. 459-482, doi:10.1002/jame.20022.

4. Fraedrich K., Jansen H., Kirk E., Luksch U., and Lunkeit F. The Planet Simulator: Towards a user friendly model // *Meteorol. Zeitschrift*, 2005, V. 14, P. 299-304.

5. Володин Е.М., Дианский Н.А., Гусев А.В. 2010. Воспроизведение современного климата с помощью совместной модели общей циркуляции атмосферы и океана INMCM 4.0. *Известия РАН. Физика атмосферы и океана*, т. 46. №4, с. 448-466.

6. Dee, Dick P., S. M. Uppala, A. J. Simmons, Paul Berrisford, P. Poli, S. Kobayashi, U. Andrae et al. "The ERA-Interim reanalysis: Configuration and performance of the data assimilation system." *Quarterly Journal of the royal meteorological society* 137, no. 656 (2011): 553-597.

7. Moss R. et al. The next generation of scenarios for climate change research and assessment. // *Nature*, 2010, V. 463(7282), P. 747-756. doi: 10.1038/nature08823.

МОНИТОРИНГ ИЗМЕНЕНИЙ СОСТОЯНИЯ ХВОЙНЫХ ЛЕСОВ, ПОВРЕЖДЕННЫХ НАСЕКОМЫМИ-ВРЕДИТЕЛЯМИ, С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КОСМИЧЕСКИХ СНИМКОВ

Маслов К.А., Токарева О.С.

Томский политехнический университет (г. Томск)
orpheus.const@outlook.com

Методы дистанционного зондирования Земли из космоса активно применяются при решении задач природно-ресурсного мониторинга [1, 2, 3], позволяя отслеживать состояние объектов окружающей среды на большой территории, в частности труднодоступной для осуществления наземных исследований.

В данной работе объектами мониторинга стали территории припоселковых кедровников, являющихся особо охраняемыми природными территориями, и трех участков хвойного леса (участок 1, участок 2 и участок 3) вблизи посёлка Улу-Юл Томской области. Подробное описание исследуемых территорий приведено в [1] и [2].

Численная оценка состояния лесного покрова производилась на основании значений нормализованного относительного водного индекса $NDWI$, отражающего количество влаги в листьях и хвоинках растительности и рассчитываемого по данным мультиспектральной съёмки согласно формуле:

$$NDWI = (NIR - SWIR) / (NIR + SWIR)$$

где NIR – отражение в ближней инфракрасной области электромагнитного спектра, $SWIR$ – отражение в коротковолновой инфракрасной области.

Оценка изменения состояния растительного покрова осуществлялась с использованием карт разностного индекса $dNDWI$:

$$dNDWI = NDWI_{post} - NDWI_{pre}$$

где $NDWI_{post}$ – значение $NDWI$ для космического снимка с поздней датой съёмки, $NDWI_{pre}$ – значение $NDWI$ для космического снимка с ранней датой съёмки.

В качестве данных дистанционного зондирования Земли были использованы снимки уровня обработки L2 (surface reflectance), полученные со спутника природно-ресурсного мониторинга Landsat 8. С использованием системы автоматизированного мониторинга изменений земной поверхности [4] были получены карты индексов $NDWI$ и $dNDWI$ и рассчитана зональная статистика для исследуемых участков.

На рисунке 1 приведены полученные фрагменты карт $dNDWI$ для Лучаново-Ипатовского кедровника. Участки, где произошло понижение значений индекса $NDWI$, показаны более темными оттенками. По данным фрагментам возможно отследить участки поражения сибирским шелкопрядом в период с 2016 по 2017 г. и улучшение их состояния после обработки в 2017 г. В период с 2018 по 2019 г. деревья, расположенные на границах пораженных участков и ослабленные шелкопрядом, были атакованы короедом, что отражено на третьем фрагменте. Общая территория пораженного леса в кедровнике на момент съёмки 26.08.2017 составила 54,18 га, 13.06.2019 – 67,32 га.

На рисунке 2 приведены аналогичные фрагменты для участка хвойного леса 3 вблизи посёлка Улу-Юл. Данные фрагменты позволяют оценить площадь пораженных гусеницами сибирского шелкопряда территорий: на момент съёмки 16.06.2017 она составила 1938,96 га, 26.08.2017 – 2483,28 га. Характерны временные промежутки наиболее негативного воздействия сибирского шелкопряда на участок: вторая половина августа 2016 г., конец весны и первая половина июня 2017 г. и август 2017 г., что соответствует периодам активного питания гусениц вредителя.

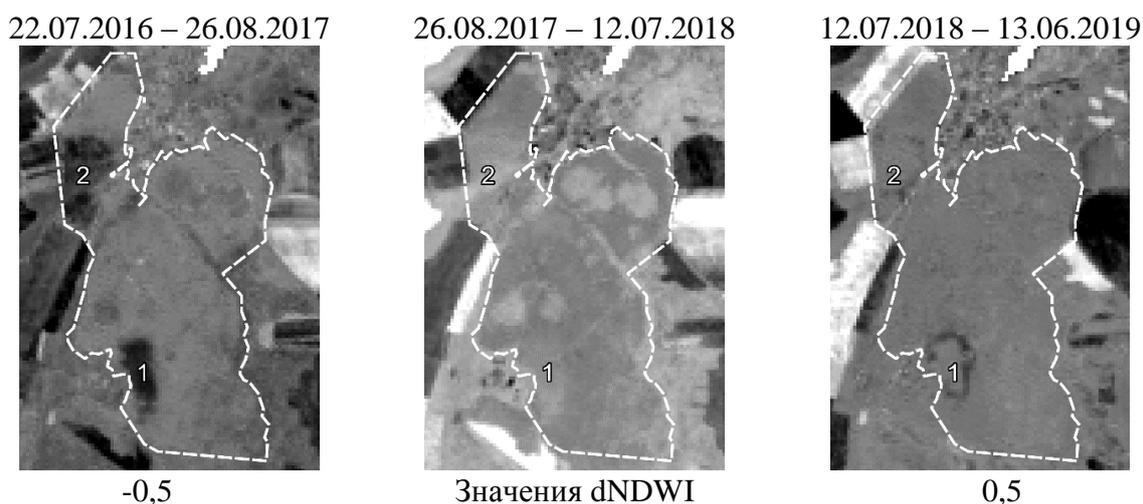


Рисунок 1. Фрагменты карт *dNDWI* для Лучаново-Ипатовского кедровника. Границы кедровника отмечены белой пунктирной линией. Пораженные вредителями участки: 1 – участок вблизи деревни Ипатово, 2 – участок вблизи села Лучаново.



Рисунок 2. Фрагменты карт *dNDWI* для участка 3 вблизи поселка Улу-Юл. Границы участка отмечены белой пунктирной линией.

1. Пасько О.А., Токарева О.С., Алшаиби А., Черникова Т.Ю., Кабраль П. Оценка состояния припоселковых кедровников Томской области с использованием данных дистанционного зондирования Земли // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2019. – Т. 330. – № 1. – С. 98–109.

2. Маслов К.А. Анализ динамики состояния хвойных лесов, поврежденных сибирским шелкопрядом, с использованием данных дистанционного зондирования Земли // Сборник трудов XVI Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Молодежь и современные информационные технологии» – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2019. – С. 98–99.

3. Kovalev A., Tokareva O. Using MODIS NDVI products for vegetation state monitoring on the oil production territory in Western Siberia // MATEC Web of Conferences. – 2016. – V. 48. – № 05003. – P. 1–4. URL: <https://doi.org/10.1051/mateconf/20164805003> (дата обращения: 23.06.2019).

4. Maslov K. Development of a software system for automated monitoring of land-cover change // Научная сессия ТУСУР – 2019. Материалы международной научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. В 4 частях, Томск, 22-24 Мая 2019. – Томск: В-Спектр, 2019 – Т.45 – С. 88 – 91.

МЕТОДИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ К ОЦЕНКЕ УЩЕРБА, ВЫЗВАННОГО ИНВАЗИЕЙ УССУРИЙСКОГО ПОЛИГРАФА В ТЕМНОХВОЙНЫЕ ЛЕСА СИБИРИ

Мельник М.А.

Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН (г. Томск)
melnik-m-a@yandex.ru

Неотъемлемым условием для формирования устойчивой системы лесопользования, выступает комплекс мероприятий, направленный на предотвращение возможных потерь от опасных и неблагоприятных природных факторов и на уменьшение эколого-экономического ущерба. Особое место в этом вопросе занимает оценка последствий, вызванных вспышками массового размножения вредителей леса. В последние десятилетия список энтомовредителей сибирского региона пополнил эндемичный дальневосточный короед – уссурийский (пихтовый) полиграф (*Polygraphus proximus* Blandf.). К настоящему времени он распространился по южной территории семи административных сибирских регионов. В результате инвазии этого стволового вредителя лесам Сибири нанесен большой урон на площади 4,5 млн. га, уссурийский полиграф явился инициатором беспрецедентного по масштабам и темпам усыхания пихтовых лесов.

В российском законодательстве существуют официальные методики для стоимостных оценок ущерба лесным насаждениям, наносимого вредителями, но они проработаны, на наш взгляд, недостаточно детально. Так, например, Приказ Рослесхоза от 2015 года N 159 предписывает регламент по проведению санитарно-оздоровительных мероприятий и ведению лесопатологических обследований. Руководство достаточно подробно и детально описывает процедуры лесопатологических обследований, но в нем отсутствует непосредственная методика расчета ущерба от вредителей и болезней леса. Подобная методика была подробно и обстоятельно прописана в Приказе Рослесхоза от 2007 г. № 523, который был отменен в мае 2015 г., хотя изучение литературных источников по данному вопросу показывает, что большинство расчетов ущербов от вредителей опирается именно на Приказ № 523.

Что касается методик расчета ущерба от инвазийных видов вредителей, в том числе от уссурийского полиграфа, то в этой сфере наработок весьма немного. Из наиболее известных в этой области исследований предварительная экспертная оценка прямого возможного ущерба от уссурийского короеда предложена Ю.И. Гниненко и М.С. Клюкиным. По их расчетам, принимая во внимание рост площади очагов полиграфа в Кемеровской области за 2005-2010 гг., минимальные площади гибели пихтарников составляют около 5000 га в год. Исходя из этого, авторы предположили, что при минимальном запасе пихтовой древесины в 150 м³/га, будет погибать 750 тыс. м³ на общую стоимость в 150 млн. рублей.

С целью разработки унифицированной методики комплексной оценки ущерба, наносимого уссурийским полиграфом, предлагается придерживаться следующих основных принципов.

1) Исходя из категорий лесных ресурсов и функций леса, при комплексной суммарной оценке потерь необходимо учитывать два основных вида ущерба лесопользованию – прямой и косвенный. Прямой ущерб подразумевает материальные потери и включает в себя: потери деловой древесины, побочных древесных и недревесных ресурсов, потери от недополученной стоимости при снижении цикла воспроизводства леса, дополнительные затраты на лесовосстановительные работы. В пихтовых лесах Сибири прямой ущерб будет складываться от потерь при ведении следующих видов лесопользования: заготовки древесины; заготовки живицы; сбора и заготовки второстепенных лесных ресурсов для промышленной переработки (заготовка пихтовой лапы, новогодних пихт). Косвенный ущерб от воздействия уссурийского полиграфа на пихтовые леса южной тайги Западной Сибири рассчитывается по трем показателям: ущерб от потери углерододепонирующей функции насаждений, ущерб от потери водоохранной функции и ущерб от потери кислородопroduцирующей функции. Усыхание пихтовых

насаждений для рассматриваемой территории неминуемо приводит к потере трех перечисленных функций, при этом в общей структуре косвенного ущерба данные компоненты имеют наибольший удельный вес и являются наиболее значимыми.

2) Поскольку процесс распространения уссурийского полиграфа в пихтовых лесах Сибири носит перманентный характер, то для комплексной оценки ущерба следует рассматривать как фактическую его составляющую (ущерб, который уже нанесен вредителем), так и потенциальную (ущерб от усыхания жизнеспособных деревьев в результате дальнейшего негативного воздействия уссурийского полиграфа). В случае проведения санитарных рубок, расчет стоимости потенциальных прямых и косвенных потерь жизнеспособного пихтового элемента древостоя следует заменить показателем стоимости лесовосстановительных работ.

3) Для насаждений, не достигших возраста рубки, необходимо ввести компонент прямого ущерба, характеризующий недополученную стоимость лесных ресурсов при снижении цикла воспроизводства леса. В основу его расчетов положен такой показатель, как ожидаемый эксплуатационный запас древесины на корню в возрасте рубки главного пользования, таким образом, учитывая возрастной состав насаждения, оценка древостоя производится по эффекту, ожидаемому в спелом возрасте, дисконтированному к моменту оценки.

4) Расчет всех указанных видов прямого ущерба должен быть основан на значениях минимальных ставок платы за древесину на корню, за единицу объема пихтовой живицы, за единицу объема пихтовой лапы и за пихты для новогодних праздников, соответственно. Таким образом, полученные расчетные данные об ущербе, нанесенном уссурийским полиграфом, будут иметь наименьшие значения, и могуткратно увеличиться при учете рыночной стоимости лесных ресурсов, которая превышает минимальные ставки платы в десятки раз.

5) Размер фактического ущерба от утраченных экологических полезностей леса в процессе усыхания пихты в результате воздействия вредителя необходимо рассчитывать как произведение годового ущерба от потери каждой из трех (углерододепонирующей, кислородопroduцирующей и водозащитной) функций на длительность усыхания насаждения.

6) При расчете ущерба от утраты углерододепонирующей и кислородопroduцирующей функций желательно учитывать возрастной состав древостоя, поскольку пихтовых насаждения наиболее эффективны в этих отношениях в возрасте 21-60 лет.

На основе теоретических и методических разработок в области экономики лесопользования и в результате реализации предложенных подходов была разработана методика комплексной оценки эколого-экономического ущерба лесопользованию, вызванного инвазией уссурийского полиграфа. Методика апробирована на фактических данных полевых исследований состояния древостоев пихты сибирской на тестовых участках, предоставленных группой ученых лаборатории мониторинга лесных экосистем ИМКЭС СО РАН.

СКОРОСТЬ РАЗЛОЖЕНИЯ РАСТЕНИЙ-ТОРФООБРАЗОВАТЕЛЕЙ НА НАЧАЛЬНЫХ СТАДИЯХ ДЕСТРУКЦИИ В ТОРФЯНОЙ ЗАЛЕЖИ ОЛИГОТРОФНЫХ БОЛОТ «БАКЧАРСКОЕ» И «ТИМИРЯЗЕВСКОЕ»

Никонова Л.Г.¹, Головацкая Е.А.¹, Терещенко Н.Н.²

¹ Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН (г. Томск)

² Томский государственный университет (г. Томск)

lili112358@mail.ru

В процессе разложения органического вещества растительного опада в торфяных залежах, наиболее активные потери массы происходят именно на начальных этапах [1-4], т.к. микроорганизмы в первую очередь разрушают легкодоступные компоненты, содержание которых со временем убывает и скорость процесса разложения снижается [5].

Цель работы: изучить динамику деструкционных процессов в болотных экосистемах южно-таежной подзоны Западной Сибири на начальных этапах разложения растений-торфообразователей.

Исследования проводились на двух олиготрофных болотах: «Бакчарское» (Бакчарский район Томской области) и «Тимирязевское» (Томский район Томской области) [6]. Изучали скорость разложения *Sphagnum fuscum* и *Eriophorum vaginatum* в сосново-кустарничково-сфагновых рямах и *Sphagnum angustifolium*, и *Carex rostrata* в осоково-сфагновых топях. Для определения скорости разложения применялся метод закладки растительных остатков в торф [7]. Для этого в лабораторных условиях собранные растения высушивали до воздушно-сухого веса, и раскладывали в нейлоновые мешочки по 10 г. Приготовленный растительный материал закладывался в торфяную залежь в мае, на глубину 10 см от поверхности в пятикратной повторности. Образцы с растительным материалом извлекались ежемесячно, до сентября. В образцах определяли убыль массы растительного вещества весовым методом и проводили микробиологические исследования, определяли содержание углерода, азота и зольных элементов [8]. При изучении активности микрофлоры использовали прямое микроскопирование, а также посев на селективные среды для определения численности микроорганизмов, участвующих в цикле превращений соединений азота и углерода [9].

В результате проведенного эксперимента выявлено, что наибольшие потери массы растительных остатков во время деструкции происходят в первый месяц разложения – от 35 до 52% от общих потерь за весь эксперимент. Наиболее интенсивное разложение на начальных стадиях разложения характерно для более теплых и менее влажных условий Тимирязевского болота. Основным растением-торфообразователем на начальных стадиях разложения является *Sphagnum fuscum*, наименее устойчивым – *Eriophorum vaginatum* (Рис. 1). Потери углерода хорошо коррелируют с потерями массы ($r=0,63$). У трав потери углерода выше, чем у мхов. Потери азота для большинства растений-торфообразователей в первый месяц разложения в большей степени зависят от условий залегания, в последующем общие потери приобретают близкие значения. Наибольшие потери азота характерны для сфагновых мхов. На первых этапах деструкции происходит неоднозначное изменение содержания зольных элементов в остатках растений. В условиях ряма как для Бакчарского, так и для Тимирязевского болот, характерно накопление зольных элементов в образцах *Eriophorum vaginatum*, 18-19% соответственно, но при этом максимальное накопление характерно для *Sphagnum fuscum* в условиях Тимирязевского ряма.

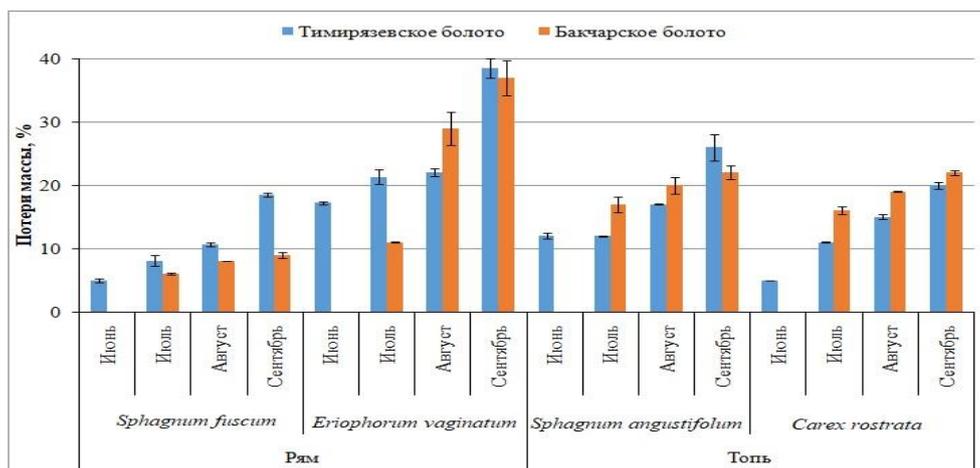


Рисунок 1. Потери массы растительных остатков, % от исходного количества

Максимальная численность микроорганизмов фиксировалась в июле и сентябре. В целом образцы Тимирязевского болота более насыщены микроорганизмами участвующими в цикле азота, а образцы с Бакчарского болота – микроорганизмами цикла углерода. В составе целлюлозолитического микробного сообщества в рядах преобладают грибы, а в условиях топи – миксобактерии. Также, в условиях рямов большее количество олиготрофов и сахаролитических грибов. В целом микроорганизмы лигноцеллюлозного комплекса менее активны. Микроорганизмов, усваивающих минеральные формы азота в среднем в 1,5 раза меньше чем микроорганизмов усваивающих органические формы, при этом число бактерий превышает общую численность грибов. Обнаружена умеренная обратная связь между содержанием азота и численностью грибов ($r=-0,27$). Также обнаружена зависимость между численностью денитрификаторов и олиготрофов ($r=0,32$), возможно объясняемая трофическими связями между данными группами микроорганизмов.

Таким образом, динамика потери массы и вынос элементов напрямую зависят от химического состава органического вещества и активности микроорганизмов.

1. Peltoniemi K., Strakova P., Fritze H., Iraizoz P.A., Pennanen T. Laiho R. How waterlevel draw-down modified litter-decomposing fungal and actinobacterial communities in boreal peatlands // Soil Biology and Biochemistry. 2012. № 51. PP. 20–34. doi: 10.1016/j. soilbio.2012.04.013.

2. Коронатова Н.Г. Исследование разложения торфа в болотах методом инкубации сухих и влажных образцов // Динамика окружающей среды и глобальные изменения климата. 2010. Т. 1, № 1. С. 77–84.

3. Вишнякова Е.К., Миронычева-Токарева Н.П., Косых Н.П. Динамика разложения растений на болотах Васюганья // Вестник ТГПУ. 2012. № 7. С. 88–93.

4. Filippova N.V., Glagolev M.V. Short-term standard litter decomposition across three different ecosystems in middle taiga zone of West Siberia // IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science. 2018. Vol. 138, № 1. 012004. doi: 10.1088/1755-1315/138/1/012004.

5. Боч М. С. Экосистемы болот СССР. – М.: Рипол Классик, 1979, 186 с.

6. Дюкарев А.Г., Пологова Н.Н. Трансформация природной среды в зоне действия Томского водозабора // ENVIROMIS. Труды межд. конф. Томск: ИОА, 2002. С. 244-251.

7. Козловская, Л. С., Медведева В. М., Пьявченко Н. И., Динамика органического вещества в процессе торфообразования. – Л.: Наука, 1978, 176 с.

8. Агрохимические методы исследования почв, – М.: Наука, 1975, 656 с.

9. Мишустин Е.Н., Ассоциации почвенных микроорганизмов. – М.: Наука, 1975, 107 с.

СЕМЕНОШЕНИЕ КЛОНОВ МУТАЦИОННЫХ "ВЕДЬМИНЫХ МЕТЕЛ" В УСЛОВИЯХ ЮЖНОЙ СИБИРИ

Полякова О.И., Жук Е.А.

Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН (г. Томск)
polyakova_olga93@mail.ru

Мутационные ВМ – это фрагменты кроны дерева с замедленным ростом, обильным ветвлением, сниженным апикальным доминированием и часто с обильным плодоношением. По литературным данным известно, что существуют различия в размерах шишек и семян между ВМ и нормальной частью кроны. Шишки и семена у мутационных ВМ могут быть меньше по размеру, чем у нормальной части кроны [1], но иногда они не отличаются от нормальных [2], а их семена в обоих случаях имеют хорошую жизнеспособность. Также известно, что доля полных семян у ВМ обычно снижена по сравнению с нормой. Но до настоящего времени не проводилось исследований с достаточно большим числом клонов для того, чтобы установить существует ли разнообразие по репродуктивным признакам среди мутационных ВМ. Целью данной работы было исследование разнообразия клонов ВМ *Pinus sibirica* Du Tour по качеству шишек и семенной продуктивности.

Эксперимент проводился на стационаре «Кедр» Института мониторинга климатических и экологических систем СО РАН, г. Томск (56°13' с.ш., 84°51' в.д.). Объектом выступили шишки собранные с 21 клона ВМ. Клоны были созданы в 2007 году путем прививки черенков из ВМ на местный пятилетний подвой кедра сибирского. Сбор шишек проводился в августе 2016 года со всех плодоносящих рамет каждого клона. Клоны ВМ имели разное количество шишек, поэтому у клонов с малым количеством шишек, были собраны все шишки, от 3 до 9 штук, а у клонов с обильным количеством шишек, из всего урожая случайным образом были взяты по 15 шишек.

У всех шишек измеряли следующие признаки: длина и диаметр шишек, число чешуй в проксимальной и дистальной стерильных зонах шишки, число фертильных и стерильных чешуй в медиальной фертильной зоне шишки, число полноразмерных семян и абортированных на разных стадиях развития и семенную продуктивность. Из полноразмерных семян каждого клона случайным образом было выбрано по 100 семян, среди которых с помощью рентгенографии определяли число полных и пустых семян, а также число семян с недоразвитым мегагаметофитом.

Между клонами ВМ по длине и диаметру шишек отмечено большое разнообразие. Разброс по длине составил от 2,7 см у клона 016 до 4,9 см у клона 02. Самый маленький диаметр шишки 2,2 см отмечен у клона 056. А самый большой диаметр шишки 3,7 см был у пяти клонов: 030, 038, 042, 044 и 054. Среди всех клонов можно было выделить небольшие группы клонов со схожими размерами и формой шишек. Так группа, образованная клонами 08, 010, 012 и 052, имела длину шишек 3,3-3,4 см, диаметр 3,0-3,2 см и имела округлую форму шишки. А группа из клонов 030, 038 и 042 с длиной 4,4-4,6 см и диаметром 3,7 см имела более вытянутую форму шишки. Также отмечены сильные различия между клонами ВМ по числу чешуй в фертильной зоне. Минимальное число фертильных чешуй составило 15,7 шт. у клона 056, а максимальное 39,2 шт. у клона 038. Число стерильных чешуй в проксимальной и дистальной зонах у всех клонов было примерно одинаковым и в среднем составило 21,3 шт. и 11,6 шт. соответственно.

У четырех клонов число семян составило менее 40 шт. на шишку, а у десяти клонов превысило 60 шт. на шишку. Потеря семян происходила по разным причинам и на разных стадиях развития. Доля не опылившихся семян от общего числа семян, у большинства ВМ составила выше 40%. Доля абортированных семян вскоре после опыления от общего числа семян, была невысокой у шишек девяти клонов (менее 10%), и повышенной у четырех клонов (свыше 20%). У двух клонов отмечено очень низкое число полноразмерных семян, у клона 016 их число составило 7,7 шт. на шишку, а у клона 056 5,7 шт. на шишку. Вы-

сокое число полноразмерных семян, свыше 35 шт. на шишку было у пяти клонов: 02, 030, 032, 038 и 040. Доля пустых от числа полноразмерных семян у всех клонов была довольно высокой. Только у одного клона (032) доля пустых семян составила ниже 10%. Число семян с недоразвитым мегагаметофитом было невысоким у большинства клонов, но в процентном отношении доля таких семян от общего числа семян с мегагаметофитом у некоторых клонов превысила 35%. По числу полных семян отличились два клона 02 и 038, их число составило свыше 33 шт. на шишку. При этом семенная продуктивность у всех ВМ была довольно низкой, у пяти клонов она не достигла и 20% и только у двух клонов была выше 44%.

Невысокое качество шишек и семян мутационных ВМ предположительно может быть вызвано несколькими факторами. Один из них небольшой размер шишек и чешуй, возможно, в аномально мелкую шишку пыльца проникает хуже. Так, например, клоны 016 и 056 в нашей работе имели самые маленькие шишки и процент потерь на стадии опыления у них был самый высокий. Аномально маленький размер шишек скорее всего может оказывать влияние и на последующее развитие шишек. Другой причиной может быть повышенная плотность ВМ, а также форма и размер ветви, несущей шишку и положение ее в кроне. Не исключено, что шишка на нормальной ветви более доступна для опыления, чем на такой совершенно не характерной для вида метле, из-за густоты которой на шишки скорее всего попадает меньше пыльцы, вследствие чего опыляется меньший процент семяпочек. Из-за избыточной плотности кроны внутри ВМ создается совершенно не характерная для нормальной кроны среда, включающая физический контакт побегов, повышенную влажность воздуха и пониженную освещенность, отчего смертность побегов внутри ВМ резко возрастает по сравнению с нормой [3]. Возможно, неполноценность шишек у ВМ может быть связана еще и с теми же причинами, по которым гибнут побеги внутри ВМ.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 18-16-00058).

1. Fordham A.J. 1967. Dwarf conifers from witches-brooms // *Arnoldia*. V. 27. P. 29-50.

2. Носков В.И., Негруцкий С.Ф. 1956. К вопросу о происхождении "ведьминых метел" на сосне // *Научные записки Воронежского лесотехн. ин-та*. Т. 15. С. 207-210.

3. Ямбулов М.С., Горошкевич С.Н. 2007. «Ведьмины метлы» кедра сибирского как спонтанные соматические мутации: встречаемость, свойства и возможности использования в селекционных программах // *Хвойные бореальной зоны*. Т. XXIV. № 2-3. С. 317-324.

СОСТОЯНИЕ ЭКЗОТОВ 5-ХВОЙНЫХ СОСЕН В УСЛОВИЯХ ЮГА ЛЕСНОЙ ЗОНЫ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

Понов А.Г.

Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН (г. Томск)
popovaleksa@yandex.ru

В зависимости от диапазона экосистемных изменений дендроценозов, как и любая другая биологическая система, способна изменять свои характеристики: продуктивность, связи, трофическую структуру, видовое разнообразие, обмен веществом и энергией внутри системы, что в конечном итоге сказывается на устойчивости системы к флуктуациям. Мониторингом дендроценозов в природе не ограничиваются исследования разнообразия и устойчивости биологических систем. Так, одним из путей повышения продуктивности и устойчивости лесов как составной части многих экосистем является интродукция древесных растений [1–4]. Важным моментом интродукции являются также задачи увеличения ассортимента высокодекоративных деревьев и кустарников для озеленения городов [5, 6]. Интродукция в нашей стране ведется с применением многих методов подбора растений в процессе интродукционного поиска («теорий интродукции») [7] и на многочисленном видовом составе древесных растений [8]. Не составляют исключение и 5-хвойные виды сосен подсекции *Strobus* [9].

Цель настоящей работы – анализ устойчивости экзотов 5-хвойных сосен к резким перепадам температур в осенне-зимний период в условиях юга лесной зоны Западной Сибири.

Объектами исследования послужило 16-летнее семенное потомство четырех видов 5-хвойных сосен: кедр европейский *P. cembra* L., кедр корейский *P. koraiensis* Sieb. & Zucc, сосна веймутова *P. strobus* L., и сосна румелийская *P. peuce* Griseb. Каждый вид был представлен 25 деревьями. Работу проводили на территории юго-востока Томской области (научный стационар «Кедр» ИМКЭС СО РАН, 56°13' с. ш., 84°51' в. д., 78 м н. ур. м.) в южной части подзоны южной тайги.

Исследуя устойчивость интродуцируемых объектов к резким перепадам температур в осенне-зимний период, оценивали повреждение почек, хвои и побегов. По степени повреждения кроны дерева были выделены следующие группы: повреждения *единичные* – морозному повреждению подвергались единичные ветви 2–3 порядка и, как правило, только хвоя; *слабые* повреждения – повреждалось до 25% скелетных ветвей 1 порядка, включая целые побеги с почками; *средние* повреждения – повреждалось до 50% скелетных ветвей; *сильные* повреждения – повреждалось до 75% скелетных ветвей и, как правило, верхняя часть ствола, в редких случаях дерево погибало полностью.

Лимитирующими факторами для полноценного развития растений в условиях юга лесной зоны Западной Сибири являются минимальная зимняя температура воздуха, поздние весенние заморозки и резкий перепад температур в осенний период при подготовке растений к зиме. В результате анализа состояния экзотов выявлено значительное повреждение всех элементов кроны у деревьев всех видов, кроме кедра европейского (табл. 1).

Чаще всего у всех видов повреждалась хвоя, реже почки и побеги, что приводило в дальнейшем к многовершинности деревьев. Причем сильнее и чаще всего повреждались деревья сосны веймутовой. Так, глубина повреждений ветвей, в среднем, составила у сосны веймутовой 2–3 года, у сосны румелийской и кедра корейского 1–2 года. Кроме этого, у первых двух видов встречались морозобойные трещины и грибные инфекции. Как правило, повреждения касались верхней и средней части кроны. В некоторых случаях это приводило к гибели всего дерева. Так, минимум раз в 8–10 лет происходила гибель 10% деревьев кедра корейского, 15% деревьев сосны румелийской и 25% деревьев сосны веймутовой. В итоге к 16-летнему возрасту осталось всего 10% деревьев кедра корейского без каких-либо признаков повреждения побегов, составляющих ствол и скелетные оси 1 порядка. У сосны веймутовой и румелийской все деревья имели признаки морозных повреждений, что указывает на их низкую зимостойкость и малоперспективность в данном пункте интродукции.

Таблица 1. Распределение деревьев 5-хвойных сосен по степени их повреждения в осенне-зимний период на юге лесной зоны Западной Сибири.

Вид	Степень повреждения деревьев, (%)			
	Единичная	Слабая	Средняя	Сильная
Кедр европейский	2	0	0	0
Кедр корейский	28	39	22	11
Сосна веймутова	0	29	29	42
Сосна румелийская	42	21	26	11

Таким образом, исследованные виды по устойчивости к резким перепадам температур в осенне-зимний период образуют следующий ряд: кедр европейский, кедр корейский, сосна румелийская, сосна веймутова. Наиболее устойчивым и, соответственно, самым перспективным видом оказался кедр европейский.

1. Лукин А.В. Южноевропейские и средиземноморские хвойные породы в центрально-черноземных областях РСФСР. Генетика, селекция, семеноводство и интродукция лесных пород. Сб. науч. тр., вып. 3. Воронеж: ЦНИИЛГиС, 1976. – С. 99–104.

2. Ботенков В.Н. Интродукция высокопродуктивных пород в Сибири/ В.Н. Ботенков, В.Е. Попова // Лесное хозяйство. – 1997. – № 5. – С. 44.

3. Морякина В.А. Интродукционные фонды растений и их сохранение // Проблемы интродукции растений и отдаленной гибридизации. Тез. докл. Междунар. конф., посвящ. 100-летию со дня рождения акад. Н.В. Цицина. М., 1998. – С. 139–140.

4. Сикура И.И. Значение интродукции растений в деле сохранения биологического разнообразия видов различных природных флор // Проблемы интродукции растений и отдаленной гибридизации. Тез. докл. Междунар. науч. конф., посвященной 100-летию со дня рождения акад. Н.В. Цицина. М., 1998. – С. 186–188.

5. Крылов Г.В. Кедр / Г.В. Крылов, Н.К. Таланцев, Н.Ф. Козакова. – М.: Лесн. пром-сть, 1983. – 216 с.

6. Бабич Н.А. Интродуценты в зеленом строительстве северных городов / Н.А. Бабич, О.С. Залывская, Г.И. Травникова. – Архангельск: Арханг. гос. техн. ун-т, 2008. – 144 с.

7. Karpun Yu.N. The main problems of introduction // Hortus botanicus. – 2004. – № 2. – P. 17–32.

8. Каталог культивируемых древесных растений России / Под ред. Н.Н. Арнаутова, А.В. Боброва, Ю.Н. Карпуна и др. Сочи; Петрозаводск, 1999. 173 с.

9. Попов А.Г. Первичная интродукция некоторых видов 5-хвойных сосен на юг лесной зоны Западной Сибири // Хвойные бореальной зоны. – 2010. – Том XXVII, № 1–2. – С. 169–174.

ДИНАМИКА ФУНКЦИОНАЛЬНОГО СОСТОЯНИЯ РАННЕГОЛОЦЕНОВОГО БОЛОТА БОЛТНОЕ КАК ОТКЛИК НА ИЗМЕНЕНИЕ ПАЛЕОКЛИМАТА (ЮЖНАЯ ТАЙГА ЗАПАДНОЙ СИБИРИ)

Прейс Ю.И.¹, Антипина Т.Г.², Зенин В.Н.³, Савельева А.В.⁴, Серебренникова О.В.⁴, Симонова Г.В.¹, Воронай Н.Н.¹

¹ Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН (г. Томск)

² Ботанический сад УрО РАН (г. Екатеринбург)

³ Институт археологии и этнографии СО РАН (г. Новосибирск)

⁴ Институт химии нефти СО РАН (г. Томск)

preisyui@rambler.ru

Для центральной части Западно-Сибирской равнины характерны верховые болота «нарымского» типа с глубокими залежами, сложенными слаборазложившимися сфагновыми торфами. Считается, что их залежи обладают мощными буферными свойствами и слабо подвержены влиянию изменений климата. Однако, они являются оптимальным объектом для палеоэкологических и палеоклиматических исследований, так как позволяют получить максимально длинные, высокого разрешения временные ряды показателей гидротермических режимов болотных экотопов и климата, необходимые для разработки прогнозов их изменений на ближайшие столетия.

Цель работы - получить данные по динамике растительного покрова, гидротермического режима и накопления торфа и углерода южнотаежного раннеголоценового олиготрофного болота «нарымского типа» и выявить степень ее климатической обусловленности на высоко-разрешающем временном масштабе исследований.

В центральной части Большого Васюганского болота, на окраине одного из локальных вершинных плато болотного массива «нарымского» типа, находящегося на 4-ой стадии развития, в низком регрессивном рьяе был заложен торфяной разрез Болтное (57° 04' 44,3' с.ш.; 79°34' 29,2' в.д.) и проведен детальный, с шагом 1-5 см, отбор образцов на полную его глубину, до 785 см. Во всех образцах определены показатели ботанического состава, степени разложения (R), плотности (P), зольности, pH, естественной влажности, торфа, а также высокочувствительных индикаторов гидротермического режима болотных экотопов и климата: степени гумификации (Ih) коэффициентов экстинкции E465 и E665 щелочных растворов гуминовых веществ, содержание растительных пигментов и E750 ацетоновых экстрактов, содержание C и $\delta^{13}\text{C}$ в торфе, видовой состав и концентрация непалиномов, а в типичных образцах – содержание и состав органического вещества липидной фракции, $\delta^{13}\text{C}$ в целлюлозе торфа, E465 и E665 щелочных растворов гуминовых кислот. На УНУ "УМС ИЯФ СОРАН" Института ядерной физики СО РАН получены 11 AMS-дат. Даты прокалиброваны при помощи программного приложения CALIB Rev. 7.0.4 в системе BP. Для выявления прекращений торфонакопления применено парное датирование соседних образцов. Расчет послыных возрастов выполнен с учетом плотности OB по 2-м вариантам: при условиях отсутствия и наличия перерывов торфонакопления.

По ботаническому составу торфа выполнены реконструкции растительных сообществ, а также водного режима методом расчета индекса влажности (IW) и ступеней увлажнения (CY) по экологическим шкалам растений. В связи с недостаточной изученностью высокочувствительных биоиндикаторов гидротермического режима верховых болот континентальных регионов, особенно образованных слаборазложившимися сфагновыми залежами, была выполнена оценка их значимости с помощью корреляционного и факторного анализа временных рядов их показателей и показателей традиционных биоиндикаторов: IW, CY, R, P, Ih, а также годовой суммы палеоосадков, полученных информационно-статистическим методом по данным спорово-пыльцевого анализа разреза Болтное.

В результате было установлено, что торфяная залежь разреза Болтное имеет возраст более 9000 л. н., верховая комплексная. До глубины 720 см она сложена верховыми слабо-разложившимися сфагновыми торфами с многочисленными прослойками, обогащенными остатками древесины, пушицы или шейхцерии. Ниже залегают низинные осоковый, тростниковый и терес-торфа. Для залежи характерны частые резкие смены торфов разного ботанического состава и пульсирующий характер изменения всех исследованных свойств по глубине залежи, что отражает значительные изменения водного режима в процессе развития болота. Часто отсутствует согласованное изменение показателей свойств торфов по глубине залежи, свидетельствующее об их вторичном изменении, а все это – о значительном нарушении аутогенного развития болота внешними факторами.

Установлено, что в связи со слабой преобразованностью торфов таких залежей, значительное влияние на показатели всех высокочувствительных индикаторов оказывает ботанический состав торфа, что понижает их индикаторную значимость, особенно Е4/Е6. При этом почти все они индицируют преимущественно водный режим палеозкотопов. Однако по временным рядам их показателей хорошо выявляются тренды палеорежимов, а резкие значительные изменения послойных показателей отражают даже их внутривековые изменения. Выявлены наиболее высокая индикаторная значимость пигментного комплекса торфов и его региональные особенности. Выявлен новый индикатор регрессивных и криогенных стадий развития болот. Установлено, что значимость индикаторов часто меняется в процессе развития болота в связи со сменой лимитирующего фактора палеозкотопа, что отражает особенности континентального климата. Кроме этого, на болотах южной тайги их значимость также зависит от трендов изменений палеоклимата.

Получены данные по долговременной скорости накопления торфа и углерода: 0,87 мм/год и 24,2 гС/м² год, варьированию этих показателей в разные периоды: 0,1–1,8 мм/год, 2,8–39,1 гС/м² год. Датированием выявлен 1 период прекращения торфонакопления с 5704 до 5120 л. н. и 3, предположительно криогенных, – расчетным методом: Для всего периода развития болота выявлено 4 этапа и 18 стадий-смен фитоценозов, от эвтрофного тростникового до олиготрофного регрессивного сосново-кустарничково-мохово-лишайникового через катастрофическую олиготрофизацию 7970 л. н. с формированием фускум-сообщества после глобального похолодания 8200 л. н. и с формированием вторичного соснового леса в конце аридного периода атлантического оптимума голоцена 5120 л. н. По комплексу традиционных и высокочувствительных индикаторов дана характеристика водного и температурного режимов болотных палеозкотопов, определены периоды наиболее вероятного влияния криогенных процессов на смены фитоценозов. Таким образом, установлено, что участки на контакте болотных массивов «нарымского» типа имели чуткий отклик на климатические изменения голоцена.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ №17-05-00860-а.

1. Бронзов А.Я. Верховые болота Нарымского края // Тр. н.-и. торф. ин-та. 1930. Вып. 3. 100 с.

ПИГМЕНТНЫЙ КОМПЛЕКС ТОРФОВ БОЛОТА БОЛТНОЕ КАК ИНДИКАТОР ИЗМЕНЕНИЙ КЛИМАТА ГОЛОЦЕНА В ЮЖНОЙ ТАЙГЕ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

Прейс Ю.И.¹, Савельева А.В.², Зенин В.Н.³, Воронай Н.Н.¹

¹ Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН (г. Томск)

² Институт химии нефти СО РАН (г. Томск)

³ Институт археологии и этнографии СО РАН (г. Новосибирск)

preisyui@rambler.ru

Все биоиндикаторы, применяемые в настоящее время для реконструкции гидротермических режимов палеозотопопов болот и климата, обладают значительной неоднозначностью в связи с многофакторной обусловленностью их образования и накопления. Для получения более полной картины функционирования болот в качестве высокочувствительного индикатора предложен пигментный комплекс торфов [1].

Цель работы – на примере типичного верхового болота южной тайги Западной Сибири выявить особенности комплекса фотосинтетических пигментов в его торфяном разрезе как индикатора гидротермического режима климата голоцена.

Объектом исследований послужил глубоководный (785 см) торфяной разрез Болтное возрастом около 9000 кал. лет, заложенный на окраине одного из локальных вершинных плато (57° 04' 44,3' с.ш.; 79° 34' 29,2' в.д.) в центральной части Большого Васюганского болота, в олиготрофном низком регрессивном ряме. Определение содержания фотосинтетических пигментов: хлорофиллов (Хл) *a*, *b*, *c* и каротиноидов в водно-ацетоновой вытяжке торфа проведено по методике [1]. Работа выполнена в составе детальных палеоэкологических и палеоклиматических исследований и AMS-датирования данного разреза. Более подробное описание торфяного разреза приведено в тезисах Прейс Ю.И. и Антипина Т.Г. с соавторами в данном сборнике.

Наиболее изучены индицирующие свойства пигментного комплекса низинных болот Приамурья с хорошо разложившимися кислыми торфами, отлагавшихся в условиях менее влажного и более теплого климата [1, 2]. Здесь выявлена тенденция возрастания общего содержания пигментов от низинной к верховой стадиям развития; установлено, что увеличение количества и разнообразия сохранившихся пигментов соответствует потеплениям климата, а уменьшение – похолоданиям; что атипичные пигментные комплексы (АПК), с отсутствием хлорофиллов *b*, *c*, и даже *a*, индицируют прохладные влажные условия, благоприятные для зеленых фотосинтезирующих бактерий, так как высокие показатели коэффициента экстинкции E750, отражающие обилие бактериохлорофиллов, препятствуют выявлению хлорофиллов при расчетах [1].

В нижних слоях торфяного разреза (ТР) Болтное также наблюдается тенденция возрастания общего содержания пигментов от низинной к верховой стадии. Но выше по разрезу, в связи с преобладанием слабо разложившихся торфов и значительным влиянием различий их ботанического состава, эта тенденция нарушается. Так, при сходных климатических условиях общее содержание пигментов в фускум торфах всегда ниже, чем в других видах верховых торфов. Как и в других регионах, торфа с высоким содержанием и максимальным разнообразием пигментов формируются в условиях, наиболее благоприятных для отложения и сохранения пигментов. Такие условия на верховой стадии развития ТР были с 7975 до 3540 кал. лет назад (л. н.), в периоды направленного потепления климата голоцена и переходном, к направленному похолоданию. В связи с тем, что ТР в этот период находился в лесостепной зоне и на границе с лесной зоной, максимальное содержание пигментов приурочено к периодам 7045-7380, 4680-5920, 4100-3540 кал. л. н., когда условия были близки к современным, более прохладными и влажными. При этом, особенностью является наличие максимально высокого содержания в этих торфах не только Хл *a*, но и Хл *b* и *c*. В аридные, максимально теплые или холодные периоды содержание пигментов в рассматриваемый период понижа-

лось. В последующий период направленного похолодания климата, когда разрез находился преимущественно в южнотаежной подзоне, общее содержание пигментов уменьшилось, а в связи с переходом болота на более обводненную топьяную стадию более частыми стали торфа с АПК. Последнее вполне закономерно, так как эти торфа имеют высокие показатели E_{750} . Для этого периода характерны максимумы Хл *a* в ангустифолиум- и майус-торфах наиболее обводненных палеозкотопов. Особенностью является формирование торфов с АПК при разных термических режимах климата, что значительно снижает их значимость как индикаторов данного режима. Особенностью является и наличие АПК и в торфах, сформировавшихся в хорошо дренированных условиях. Наличие АПК в таких торфах, в случае высоких показателей E_{750} , вероятнее всего также обусловлено высоким содержанием бактериохлорофиллов, но вероятнее всего является индикатором вторичного изменения свойств торфа в теплых аридных условиях. Более сложным является выявление генезиса АПК в торфах с низкими E_{750} . Вполне вероятно, что такие торфа индицируют аридные похолодания. В этих условиях снижается исходное содержание Хл *a*, более длительное нахождение его в аэробных условиях в связи с замедлением торфонакопления приводит к более интенсивному его разрушению, бактериохлорофиллы отсутствуют из-за низкой обводненности экотопов. АПК получены и в древесных торфах, сформировавшихся при сухих потеплениях, вероятно из-за преобладания в них остатков растений, не содержащих хлорофилл.

Для ТР Болтное характерно чрезвычайно многообразие наборов пигментов и показателей их содержания в разных слоях залежи, что обусловлено как различиями исходного содержания их в растениях-торфообразователях, многообразием условий захоронения их в торфе, так и сменой лимитирующих факторов в процессе развития болота. Многофакторная обусловленность и смена лимитирующих факторов подтверждены данными факторного анализа и разной корреляционной зависимостью, как между пигментами, так и E_{750} в разных слоях залежи. Коэффициенты корреляции для пар одинаковых показателей в разных слоях могут различаться даже знаком. При этом, для разных стадий развития установлена высокая корреляционная зависимость и одинаковый лимитирующий фактор для показателей Хл *b*, Хл *c* и каратиноидов.

В целом, частое, значительное варьирование показателей содержания Хл *a* и каратиноидов подтверждает их высокую чувствительность как индикаторов водного режима. Региональной особенностью, как отражением континентальности климата являются резкие изменения содержания пигментов, которые могут быть использованы для уточнения, как времени поступления глобальных климатических сигналов в данный регион, так и отклика на них болотных систем.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ №17-05-00860-а.

1. Климин М.А., Сиротский С.Е. Распределение фотосинтетических пигментов в профиле торфяных отложений как отражение колебаний климата в голоцене // Биогеохимические и геоэкологические процессы в экосистемах. Вып. 15. Владивосток: Дальнаука, 2005. С. 237-248.

2. Климин М.А., Сиротский С.Е., Копотева Т.А. Пигментные характеристики торфяных отложений различного генезиса Нижнего Приамурья // Биогеохимия и гидроэкология наземных и водных экосистем. Вып. 20. Хабаровск: ИВЭП ДВО РАН, 2013. С. 157-166.

МОНИТОРИНГ ЦЕНОПОПУЛЯЦИЙ *CYPRIPEDIUM GUTTATUM* SW. НА ТЕРРИТОРИИ ЗАПОВЕДНИКА «ТУНГУССКИЙ»

Райская Ю.Г.¹, Тимошок Е.Н.²

¹ Государственный природный заповедник «Тунгусский» (Красноярский край, с. Ванавара)

² Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН (г. Томск)
raiskaya.julia@mail.ru, ten80@mail.ru

Cypripedium guttatum Sw. – один из самых распространенных видов сибирских орхидных. В условиях заповедника «Тунгусский» этот вид достаточно широко встречается, его популяции имеют значительную численность и достаточно высокую плотность, растения проходят полный жизненный цикл и имеют семенное размножение, что позволяет говорить об оптимальности или субоптимальности условий Южной Эвенкии для этого вида. В настоящий момент вся Сибирь подвержена значительным климатическим изменениям (Groisman et al, 2012), включая изменение погодного режима и деградацию типичной для Эвенкии вечной мерзлоты, в силу этого возможно предположить, что изменениям могут подвержены не только ценопопуляции находящиеся на краях ареала, но и те из них, которые находятся в его центральной части.

Для оценки состояния ценопопуляций на данный момент времени был проведен пятилетний цикл мониторинга. Пятилетняя продолжительность мониторинга была выбрана исходя из предположения о том, что отдельные парциальные побеги при неблагоприятных погодных условиях могут переходить в состояние вторичного покоя и оставаться в таковом несколько лет (Афанасьева и др., 2013), в силу чего меньший срок не позволяет проведения объективной оценки состояния ценопопуляций.

В качестве объекта мониторинга были выбраны 4 модельных ценопопуляции *Cypripedium guttatum*, расположенных на ключевом участке «Кордон Малина» в лиственничных и лиственнично-сосновых лесах с разнотравно-кустарничково-зеленомошным почвенным покровом. Во всех популяциях на протяжении 5 лет производился пересчет парциальных побегов и определение их онтогенетического состояния. В качестве характеристик, отражающих динамику популяции и ее состояние, были выбраны плотность популяции, характер онтогенетического спектра и тип популяции, определяемый по классификации Л.А. Животовского (2001). Соотношения числа особей в различном онтогенетическом состоянии, плотности популяций и их тип приводятся в Таблице 1.

Было установлено, что две выбранные ценопопуляции являются «молодыми», а две – «зреющими» по классификации Животовского. Обе «зреющие» ценопопуляции имели достаточно высокую и незначительно варьирующую плотность: у ЦП №1 она варьировала от 9,9 до 11,7 парциальных побегов/м², а у ЦП №2 от 22,9 до 23,5 парциальных побегов/м². Обе ценопопуляции имели вегетативно-ориентированный онтогенетический спектр, однако в нем так же присутствовали как ювенильные, так и генеративные парциальные побеги, но динамика этих ценопопуляций была различной. Так в ЦП №1 число ювенильных парциальных побегов изменялось в 6 раз (от 4 до 25), а число генеративных побегов варьировало от 0 до 31, в то же самое время в ЦП №2 численность как ювенильных, так и генеративных побегов менялась не более чем в 2 раза (число ювенильных побегов варьировало от 55 до 106, число генеративных – от 78 до 177).

«Молодые» популяции имели генеративно ориентированный тип спектра и низкую, незначительно варьирующую или практически стабильную плотность: у ЦП №3 плотность варьировала от 0,9 до 1,1 парциальных побегов/м², у ЦП №4 – оставалась практически стабильной (0,7 парциальных побегов/м²). Число генеративных побегов в популяциях изменялось от 40 до 72 в ЦП №3 и от 36 до 48 в ЦП №4. При этом в обеих ценопопуляциях практически отсутствовали ювенильные побеги: в ЦП №3 1 побег был отмечен только 2013 г., в ЦП №4 число побегов изменялось от 0 до 4). Колебания числа ювенильных побегов в каждой па-

ре ценопопуляций не совпадали по времени с колебаниями числа генеративных, кроме того колебания численности обеих групп в разных популяциях не совпадали друг с другом по времени несмотря на пространственно близкое расположение популяций и идентичность погодных условий.

В целом изучение всех 4 ценопопуляций показало их значительную стабильность и способность к самоподдержанию в условиях современных климатических изменений, а так же продемонстрировало то, что для получения объективных данных по устойчивости и изменениям ценопопуляций *Cypripedium guttatum* требуется применение 5-летних циклов мониторинга, позволяющие компенсировать естественные колебания показателей.

Таблица 1. Показатели ценопопуляций *Cypripedium guttatum* в исследуемых ценопопуляциях

ЦП	Год	Онтогенетический спектр (парциальных побегов)								Δ	ω	Классификация типов ЦП
		j	im	v	g1	g2	g3	ss	s			
1	2009	31	288	844	–	–	–	–	–	0,26	0,80	зреющая
	2010	4	313	857	–	–	–	–	–	0,24	0,75	зреющая
	2012	4	275	698	11	–	–	–	–	0,24	0,76	зреющая
	2013	25	335	764	31	–	–	–	–	0,22	0,68	зреющая
	2014	5	254	751	27	–	–	–	–	0,25	0,78	зреющая
2	2009	59	208	1969	81	–	–	–	–	0,29	0,89	зреющая
	2010	55	225	1967	78	–	–	–	–	0,29	0,90	зреющая
	2012	67	261	1922	119	16	–	–	–	0,27	0,83	зреющая
	2013	106	310	1690	99	–	–	–	–	0,26	0,81	зреющая
	2014	69	236	1933	143	34	–	–	–	0,28	0,87	зреющая
3	2009	–	1	28	49	9	–	–	–	0,15	0,41	молодая
	2010	–	–	38	50	5	–	–	–	0,15	0,45	молодая
	2012	–	7	30	72	–	–	–	–	0,09	0,28	молодая
	2013	1	3	47	37	3	–	–	–	0,19	0,57	молодая
	2014	–	1	40	41	13	–	–	–	0,20	0,54	молодая
4	2009	–	–	22	32	16	–	–	–	0,20	0,51	молодая
	2010	2	–	19	40	7	–	–	–	0,14	0,38	молодая
	2012	2	–	22	40	7	–	–	–	0,14	0,39	молодая
	2013	3	6	24	36	–	–	–	–	0,11	0,35	молодая
	2014	3	1	26	40	–	–	–	–	0,11	0,35	молодая

Δ - индекс возрастности по Уранову; ω – энергетическая эффективность популяции

1. Groisman P., Blaharchuk T., Chernokulsky, A, et al. Climate changes in Siberia // Regional environmental changes in Siberia and their global consequences. Springer: Dordrecht, 2012. P. 57-109. DOI: 10.1007 / 978-94-007-4569-8_3.

2. Афанасьева Е.А., Галкина М.А., Казанцева Е.С. Ценопопуляции *Cypripedium guttatum* Sw. в центральной Якутии // Вестник СВФУ. 2013. №4. С. 11-18.

3. Животовский Л.А. Онтогенетические состояния, эффективная плотность и классификация популяций растений // Экология. 2001. №1. С. 3-7.

МОНИТОРИНГ ВОЗРАСТНОЙ СТРУКТУРЫ ЛИСТВЕННИЧНИКОВ ЗОНЫ КОНТАКТА ЛЕСА И СТЕПИ (КУРАЙСКАЯ КОТЛОВИНА, СЕВЕРО-ЧУЙСКИЙ ХРЕБЕТ, ГОРНЫЙ АЛТАЙ)

Савчук Д.А.¹, Луговская Н.С.²

¹ Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН (г. Томск)

² Томский государственный университет (г. Томск)

savchuk@imces.ru, simvolsmert@mail.ru

Возрастная структура – важнейшая характеристика древостоя в лесу. Определение того, как распределяются деревья по возрасту, приводит к пониманию функционирования и устойчивости древостоев. Выявление возрастной структуры лиственных древостоев будет способствовать познанию их формирования. Исследования такого плана в зоне контакта леса и степи немногочисленны и проведены в более влажных лесорастительных условиях [2, 3]. Цель работы – выявить особенности возрастной структуры и времени формирования возрастных поколений в лиственныхниках зоны контакта леса Северо-Чуйского хребта и степи Курайской котловины (Горный Алтай).

Для реализации этой цели заложены 11 пробных площадей в виде экологического профиля на высотах 1650–1700 м над ур. м. Профиль протянулся от сомкнутых лиственныхников в нижней части лесного пояса через лесостепную границу (пограничную полосу шириной 100-200 м в виде лиственных редколесий между сомкнутыми лесами и степью) до лесостепного экотона (изолированных друг от друга фрагментах лиственного леса, расположенных в степи).

На каждой пробной площади производился сплошной пересчет деревьев по возрастным поколениям, измерялись высоты и диаметры деревьев. Возраст деревьев определялся по кернам по двум радиусам, взятым с помощью возрастного бурава отдельно по возрастным поколениям. Разбиение древостоев на возрастные поколения и определение типов их возрастной структуры производилось по классификации И.В. Семечкина [5]. Общее количество модельных деревьев лиственницы на обоих профилях составило 845.

Лиственные древостои, произрастающие в сухих степных и близких к ним условиях, представлены деревьями второго и третьего возрастного поколения со средними возрастными 133-161 и 71-73 года соответственно (рис. 1). По количеству преобладают деревья третьего, самого младшего, поколения. Деревья первого, самого старшего, поколения отсутствуют. Последние с возрастом старше 200 лет представлены на другом экологическом профиле с более влажными условиями произрастания, где и видовое разнообразие деревьев выше [2, 3]. Причиной отсутствия на исследованном профиле деревьев старших возрастов (первое поколение) и небольшое количество деревьев второго поколения мы видим в проведении там рубок 50-60 лет назад, поскольку нами были обнаружены полуразложившиеся пни от срубленных деревьев лиственницы.

При анализе формирования возрастных поколений лиственных древостоев в зоне контакта «лес–степь» использовалась модель реконструированных температур воздуха вегетационного сезона за последние 500 лет для верховий р. Актру [1], которая является территориально ближайшей к изучаемой территории. Анализ возрастной структуры древостоев и хода реконструированной температуры показал их сопряженную изменчивость.

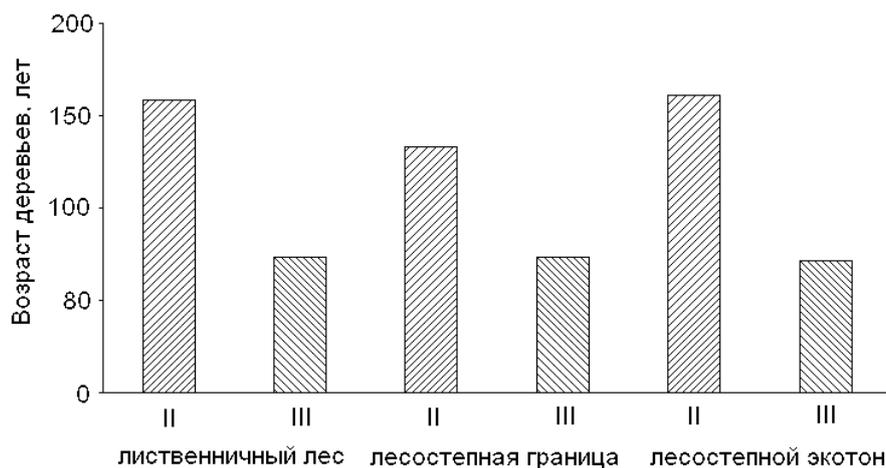


Рисунок 1. Возрастная структура (деревья второго и третьего поколений) лиственничных древостоев в лиственничниках, на лесостепной границе и в лесостепном экотоне зоны контакта леса Северо-Чуйского хребта и степи Курайской котловины (Горный Алтай).

Формирование древостоев шло этапами. Первое, самое старое, возрастное поколение лиственницы [3] происходило в течение XVIII в., что совпадает с вековым циклом повышения температуры. Следующий этап формирования древостоев (II возрастное поколение лиственницы) произошел в конце XIX на максимуме векового цикла хода температуры. Третье, самое молодое, возрастное поколение начало формироваться в первой половине XX в. В это время температура была средней или слегка пониженной (в среднем около 9 градусов). Такая величина не была критичной для роста и развития деревьев на фоне идущего общего потепления климата.

В зоне контакта сомкнутого леса нижней части лесного пояса Северо-Чуйского хребта и Курайской степи появление поколений лиственницы определяется вековой и внутривековой цикличностью хода температуры. Возможно, в данном случае имеет значение и цикличность режима увлажнения, которая отмечена при изучении возрастного состава остепненных сосновых редколесий в Забайкалье [4].

1. Бочаров А.Ю. Структура и динамика высокогорных лесов Северо-Чуйского хребта (Горный Алтай) в условиях изменений климата // Вестник Томск. гос. ун-та. 2011. № 352. С. 203-206.

2. Бочаров А.Ю., Савчук Д.А. *Larix sibirica* (Pinaceae) на верхней и нижней границах своего произрастания (Северо-Чуйский хребет, Горный Алтай) // Растит. мир Азиатской России. 2015. № 3(19). С. 22–29.

3. Бочаров А.Ю., Савчук Д.А. Структура лесов и климатический отклик деревьев в зоне контакта «лес-степь» (Горный Алтай) // Журн. Сиб. федерал. ун-та. Биология. 2015. Т. 8. № 4. С. 426–440.

4. Глызин А.В., Размахнина Т.Б., Корсунов В.М. Дендрохронологические исследования в контактной зоне «лес-степь» как источник информации о ее динамике // Сиб. экол. журн. 2005. Т. 12. № 1. С. 79-83.

5. Семечкин И.В. Динамика возрастной структуры древостоев и методы изучения // Вопросы лесоведения. Красноярск, 1970. Вып. 1. С. 422–445.

КАРИОЛОГИЧЕСКИЕ И МОЛЕКУЛЯРНО-ГЕНЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ХВОЙНЫХ НА БОЛОТАХ И СУХОДОЛАХ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

Седельникова Т.С.¹, Пименов А.В.¹, Муратова Е.Н.¹, Ефремов С.П.¹, Орешкова Н.В.^{1,2,3}

¹ Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН (г. Красноярск)

² Красноярский научный центр СО РАН (г. Красноярск)

³ Сибирский федеральный университет (г. Красноярск)

tss@ksc.krasn.ru, oreshkova@ksc.krasn.ru

Фенотипическое своеобразие популяций хвойных, формирующих болотные дендроценозы, и их отличия от смежных насаждений на суходолах, давно привлекали внимание исследователей. Было показано, что между популяциями хвойных на болотах и суходолах существует репродуктивная изоляция, определяющая различные направления естественного отбора и обуславливающая их дивергенцию в контрастных гидротермических и эдафических условиях произрастания. При этом основной проблемой при изучении полиморфизма болотных и суходольных популяций хвойных является установление уровня их генетической дифференциации и определяющих ее факторов. Кариологические и молекулярно-генетические исследования, выявившие различия болотных и суходольных популяций хвойных по ряду признаков хромосом и аллельному составу ферментов, начали проводиться в 80–е гг. XX в. [1–3]. Однако данные исследования охватывали популяции лишь одного вида – *P. sylvestris*, произрастающие на олиготрофных болотах и суходолах Русской равнины, Урала, Зауралья и примыкающих районов Западной Сибири.

В последующие годы в качестве наиболее подходящего экспериментального полигона для выявления закономерностей кариотипической и генетической дивергенция хвойных, произрастающих на болотах и суходолах, была выбрана отличающаяся высокой степенью заболоченности территория Западно-Сибирской равнины. Материал для исследований собирался в популяциях хвойных из семейств сосновые (*Pinaceae* Spreng. ex F. Rudolphi) и кипарисовые (*Cupressaceae* Bartl.): сосны обыкновенной, сосны сибирской (*Pinus sibirica* Du Tour), лиственницы сибирской (*Larix sibirica* Ledeb.), ели сибирской (*Picea obovata* Ledeb.), пихты сибирской (*Abies sibirica* Ledeb.) и можжевельника обыкновенного (*Juniperus communis* L.), произрастающих на болотах различных типов водно-минерального питания (олиготрофных, евтрофных) и суходолах южно-таежной подзоны Томской области.

Установлено, что произрастающие на болотах и суходолах виды хвойных являются диплоидами. Основное число хромосом (x) у представителей семейства *Pinaceae* равно 12 ($2n = 2x = 24$), *Cupressaceae* – 11 ($2n = 2x = 22$). В семенном потомстве деревьев выявлена изменчивость числа хромосом (миксоплоидия, анеуплоидия), наиболее распространенная в болотных популяциях видов семейства *Pinaceae*. В популяциях *P. obovata* обнаружены добавочные, или В–хромосомы, более часто встречающиеся у деревьев на болотах. Кариотип *P. sylvestris* включает 12 пар хромосом метацентрического типа (I–XII). Кариотип *P. sibirica* состоит из 12 пар метацентрических хромосом (I–XII). Кариотип *L. sibirica* содержит 6 пар метацентрических хромосом (I–VI), 1 пару хромосом интерцентрического типа (VII), 5 пар субметацентрических хромосом (VIII–XII). Кариотип *P. obovata* включает 10 пар метацентрических хромосом (I–VIII, X–XI) и 2 пары субметацентрических хромосом (IX–XII). Кариотип *A. sibirica* состоит из 7 пар метацентрических хромосом (I–VII) и 5 пар субметацентрических хромосом (VIII–XII). Хромосомный набор *J. communis* содержит 11 пар хромосом метацентрического типа (I–XI). Основными отличительными особенностями кариотипов деревьев из болотных популяций хвойных по сравнению с суходольными являются увеличение числа вторичных перетяжек в хромосомах и количества ядрышек в интерфазных ядрах. В семенном потомстве болотных популяций хвойных, в отличие от суходольных, отмечаются высокая встречаемость хромосомных мутаций и патологий митоза и их широкий спектр.

В последние годы для исследования генотипической структуры и дифференциации болотных и суходольных популяций хвойных в Западной Сибири стали применяться методы молекулярно-генетического анализа. С помощью изоферментных методов анализа было установлено, что болотные и суходольные популяции *P. sylvestris*, несмотря на низкий уровень генетической дифференциации, отличаются по генетической структуре. Наиболее существенные различия в частотах аллелей проанализированных изоферментных локусов выявлены между популяциями *P. sylvestris*, произрастающими в неодинаковых по условиям водно-минерального питания местообитаниях на евтрофном и олиготрофном болотах [4]. Нами для популяций *P. sibirica* проведены исследования на уровне непосредственного носителя наследственной информации – ДНК. Анализ 6 ядерных микросателлитных локусов в популяциях *P. sibirica* с олиготрофного болота, евтрофного болота и суходола показал, что популяции различаются по уровню генетического разнообразия. Самые высокие значения почти всех параметров генетической изменчивости выявлены в популяции *P. sibirica* с олиготрофного болота. С помощью генетических дистанций Нея установлено, что популяции *P. sibirica* с суходола и евтрофного болота наиболее близки по генетической структуре, а популяция *P. sibirica* с олиготрофного болота существенно отличается от них. Протестированы 24 пары ПЦР праймеров для амплификации и генотипирования 1 митохондриального и 3 хлоропластных цитоплазматических локусов для *P. sibirica*. Популяция *P. sibirica* с евтрофного болота оказалась более полиморфной по сравнению с популяцией данного вида с олиготрофного болота.

На основании полученных данных кариологического и молекулярно-генетического методов анализа можно заключить, что генотипическая структура популяций хвойных, произрастающих на болотах и суходолах, существенно различается. Дифференциация болотных и суходольных популяций видов *Pinaceae* по кариотипическим и молекулярно-генетическим признакам обуславливается различным характером микроэволюционных процессов в контрастных условиях произрастания древостоев на болотах и суходолах.

Работа выполнена при поддержке Комплексной программы фундаментальных исследований СО РАН «Междисциплинарные интеграционные исследования» на 2018–2020 гг., проект № 45.

1. Особенности формирования популяции сосны обыкновенной. М.: Наука, 1984. 128 с.
2. Петрова И.В., Санников С.Н., Рябоконт С.М., Духарев В.А., Санникова Н.С. Генетическая дифференциация болотных и суходольных популяций сосны обыкновенной в Западной Сибири // Экология. 1989. № 6. С. 39–44.
3. Семериков Л.Ф., Семериков В.Л., Подогас А.В., Животовский Л.А., Шурхал А.В. О структуре эколого-генетической изменчивости сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) // Экология. 1993. № 6. С. 34–40.
4. Larionova A.Ya., Ekart A.K. Isoenzyme diversity and differentiation of marsh Scotch pine (*Pinus sylvestris* L.) populations in the Western Siberia // Eurasian J. For. Res. 2011. V. 14–1. P. 21–28.

К МЕТОДИКЕ РАСЧЕТА АККУМУЛЯЦИИ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГИИ В РАСТИТЕЛЬНОСТИ ЮГА СИБИРИ

Семенова К.А.

Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН (г. Томск)
ksenia_ska@mail.ru

Ежегодно достигает атмосферы Земли примерно $56 \cdot 10^{23}$ Дж солнечной энергии [1], но из всей попадающей на Землю энергии лишь от нескольких десятых до восьми процентов поглощается зелёными растениями [2]. В растениях солнечная энергия накапливается посредством фотосинтеза, процесс которого хорошо изучен и математически описан. Для объективной оценки энергоэффективности природных систем поставлена задача определения аккумулируемой в биомассе растительного покрова солнечной энергии за вегетационный период в модельных районах юга Сибири на единицу площади в единицу времени, решение которой позволит рассчитать сколько солнечной энергии необходимо преобразовать для получения и изготовления товаров и услуг, если бы солнечная радиация была единственным вкладом в эти производства. Все системы на Земле участвуют в процессе преобразования более низкой по качеству энергии в более высокую, а солнечная энергия является главным энергетическим источником. Следовательно, и другие виды энергии могут быть выражены через солнечную энергию.

По данным зарубежных ученых [1], растительная продукция Земли превышает $1,2 \cdot 10^{11}$ тонн (в пересчете на сухое вещество). При этом поглощается более $1,7 \cdot 10^{11}$ тонн углекислого газа с расщеплением $1,3 \cdot 10^{11}$ тонн воды и выделением $1,2 \cdot 10^{11}$ тонн кислорода и запасается $16,75 \cdot 10^{20}$ Дж солнечной энергии, которая преобразуется в энергию более высокого порядка.

Существуют разные подходы и методики расчетов накапливаемой в растительности солнечной энергии. В литературе принято выделять поглощенную энергию и запасенную, где последняя E_z характеризуется произведением прироста массы растений (P) на их калорийность (C). Поглощенную энергию E_p растениями, с учётом площади освещаемой поверхности S , определяют путем умножения величины интенсивности поверхностной радиации E_0 на коэффициент поглощения α : $E_p = E_0 \cdot \alpha \cdot S \cdot t$ [2].

Коллектив авторов под руководством профессора Ермохина Ю.И. [3] для определения количества солнечной энергии, поглощенной растениями, применяли суммарное уравнение фотосинтеза с учетом молекулярных масс, участвующих в реакции соединений, которые использовались в последующих балансовых расчетах:

$$6CO_2 + 6H_2O \xrightarrow{с.з. 2,722 \text{ кДж}} C_6H_{12}O_6 + 6O_2.$$

По их оценкам аккумулированная энергия в озимой пшенице равна 156061,3 Дж/га, а эффективность связывания растительностью солнечной радиации снижается при недостатке тепла и влаги, при неблагоприятных физических и химических свойствах почвы и т. п.

Применив вышеприведенные методики и уже полученные в предыдущих исследованиях данные [4-6], предполагается рассчитать коэффициенты трансформации солнечной энергии для основных видов растительности юга Сибири.

1. David O. Hall, Krishna Rao Photosynthesis Cambridge University Press, 1999. 214 p. https://books.google.ru/books?id=6F7yuf1Sj30C&pg=PP9&hl=ru&source=gbs_selected_pages&cad=3#v=onepage&q&f=false.

2. Лукьянов В.А., Головастикова А.В. Расчет КПД фотосинтеза у высших растений // Вестник ФГБОУ «Брянская государственная сельскохозяйственная академия». № 5. 2014. С. 18-21.

3. Ермохин Ю.И., Складорова М.А., Гоман Н.В. Поглощение солнечной энергии растениями при оптимальном сбалансированном минеральном питании // Проблемы агрохимии и экологии. – 2016. - № 1. С. 18-23.

4. Невидимова О.Г., Янкович Е.П. Климатические условия развития гелиоэнергетики на территории Западной Сибири. // Современные проблемы науки и образования. – 2015. – №1. – URL: www.science-education.ru/125-20163.

5. Невидимова О.Г., Янкович Е.П. Энергетические ресурсы солнечной радиации и ветра на территории Томской области. // Успехи современного естествознания. – 2015. – № 11. – С.134-138. – URL: www.rae.ru/use/?section=content&op=show_article&article_id=10004527.

6. Волкова Е.С. Алгоритм энергетической оценки возобновляемых природных ресурсов региона в среде ГИС-технологий. // Одиннадцатое сибирское совещание по климато-экологическому мониторингу: Материалы докладов. / под ред. М.В. Кабанова. Томск, 2015. – С. 188-190.

КОМПЛЕКСНАЯ ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ ЛЕСОБОЛОТНЫХ ЭКОТОНОВ СЕВЕРО-ВОСТОЧНЫХ ОТРОГОВ БОЛЬШОГО ВАСЮГАНСКОГО БОЛОТА

Синюткина А.А.¹, Каширо М.А.², Чудиновская Л.А.²

¹ Сибирский научно-исследовательский институт сельского хозяйства и торфа – филиал Сибирского федерального научного центра агробιοтехнологий РАН (г. Томск)

² Томский государственный университет (г. Томск)
ankalaeva@yandex.ru

Комплексная оценка закономерностей пространственной дифференциации заболоченных территорий от геолого-геоморфологических факторов и пространственных структур болотных массивов является одним из основных критериев при геоинформационном моделировании зон потенциального заболачивания прилегающих к болотам территорий. Задачами исследования является количественно оценить геоморфологические факторы формирования характеристик и видового состава растительного покрова, разработать классификацию пространственных структур верховых болотных массивов. Объектами исследования являются окраинные части Бакчарского и Иксинского болотных массивов (северо-восточные отроги Большого Васюганского болота, подзона южной тайги Западной Сибири).

При выполнении исследования использованы методы полевых ландшафтных описаний, георадиолокации, геоинформационного моделирования. Георадарная съемка выполнена с использованием георадара ОКО-2 в комплекте с экранированным антенным блоком (частота зондирования 250 МГц, развертка по глубине 200 нс, шаг зондирования 5 см). В соответствии с установленными метками на радарограмме в летний период 2018 года выполнено контактное зондирование торфяной залежи на 33 точках. Выполнены геоботанические описания и описания микрорельефа поверхности, проведено определение уровня болотных вод от средней поверхности болота на 15 площадках. Для построения цифровых моделей рельефа проведена тахеометрическая съемка поверхности ключевого участка. Обработка и интерпретация данных георадиолокации проведена с использованием программы GeoScan32 (ООО Логические системы). Определение границ зоны потенциального заболачивания проведено на основе классификации данных Landsat 8 (дата съемки 17.07.2018). Обучающая выборка составлена с использованием данных полевых ландшафтных исследований и включала в себя участки, индицирующие развитие процессов гидроморфной трансформации геосистем. Характеристика пространственных структур болотных массивов проведена методом ландшафтного профилирования с использованием данных Landsat 8. Всего заложено 40 профилей от центра к периферии болотных массивов параллельно линиям стока. На каждом профиле поведено измерение расстояния от водораздела до окраины болота, общей протяженности болотного массива, протяженности зоны влияния болота, угла наклона поверхности в пределах зоны влияния, определен набор и протяженность основных микроландшафтов (грядово-озерковый и грядово-мочажинный комплексы, сосново-кустарничково-сфагновые болота с низкой и высокой сосной, травяно-моховые топи) от центра болотного массива к периферии. Для классификации пространственных структур болотных массивов использован метод кластерного анализа, сравнение отличий значений протяженности зоны влияния болота между классами проведено с использованием тестов Mann-Whitney и Kruskal-Wallis. Выявление зависимостей протяженности зоны влияния болотных массивов от характеристик пространственной структуры и углов наклона поверхности выполнено с использованием метода главных компонент.

В результате исследования выявлено снижение среднего угла наклона поверхности ключевого участка в пределах лесоболотного экотона в результате торфонакопления с $0,23^\circ$ до $0,15^\circ$. Отмечено, что на пространственную дифференциацию растительного покрова и степень увлажнения местообитаний большее влияние оказывают уклоны минерального дна в сравнении с уклонами современной поверхности, которые находятся в обратной зависимости

с мощностью торфяной залежи. Развитие процесса гидроморфной трансформации заболоченных лесов в зоне влияния болотного массива отражено в замещении ели (*Picea obovata*) сосной (*Pinus sylvestris*) с более широкой экологической амплитудой по отношению к увлажнению местообитания. Выравнивание поверхности лесоболотного экотона будет способствовать дальнейшей гидроморфной трансформации, что определяет положительный тренд заболачивания территории [1].

В результате классификации пространственных структур болотных массивов на примере северо-восточных отрогов Большого Васюганского болота (Иксинский, Бакчарский болотные массивы) выделены 4 класса пространственных структур, определяющие стадию развития и форму поверхности и, как следствие, интенсивность поверхностного стока с болота на прилегающие территории и являющиеся индикаторами протяженности зоны влияния болот при низких уклонах поверхности. Первый и второй классы пространственных структур отличаются широким распространением комплексных грядово-озерковых (1 класс) и грядово-мочажинных (2 класс) микроландшафтов, протяженность которых достигает своего максимального значения в пределах рассматриваемого участка в 15 км, со средним значением 6,8 км. Для первого и второго класса пространственных структур характерны максимальные значения протяженности зоны влияния болота в пределах ключевого участка, достигающей 8,4 км от границы болотного массива со средним значением 4,6 км. Третий класс характеризуется широким развитием топяных микроландшафтов, средняя протяженность зоны влияния болота составляет 3,5 км. Четвертый класс пространственных структур отличается полным отсутствием комплексных и широким развитием древесных и древесно-моховых микроландшафтов, и минимальной протяженностью зоны влияния болот в пределах рассматриваемого участка, среднее значение которой составило 1,7 км.

Таким образом, использование предложенных методов и подходов позволило получить принципиально новую информацию о состоянии окраинных частей болотных массивов, в том числе, за счет использования георадиолокационной съемки, преимуществом которой является возможность получения непрерывных профилей торфяной залежи и минерального дна болота, чего не возможно достичь с использованием традиционных методов контактных измерений. Применение методов геоинформационного моделирования для обработки материалов полевых исследований позволило выявить новые закономерности развития процесса заболачивания в пределах лесоболотных экотонов в зависимости от уклонов поверхности и минерального дна болота.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант № 18-35-00387 –мол_а).

1. Синюткина А.А., Гашкова Л.П. Оценка состояния окраинных частей Большого Васюганского болота (на примере Бакчарского болотного массива) // Почвы и окружающая среда. 2018. Том 1. № 4. С. 243-255.

ОЦЕНКА УСЛОВИЙ ГИДРОМОРФНОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ ЛЕСОБОЛОТНЫХ ЭКОТОНОВ РАЗНЫХ ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКИХ УРОВНЕЙ

Синюткина А.А.¹, Чудиновская Л.А.²

¹ Сибирский научно-исследовательский институт сельского хозяйства и торфа – филиал Сибирского федерального научного центра агробιοтехнологий РАН (г. Томск)

² Томский государственный университет (г. Томск)
ankalaeva@yandex.ru

Интенсивность гидроморфной трансформации прилегающих к болотам территорий находится под влиянием комплекса факторов, включающих показатели рельефа поверхности и минерального дна болота, региональные особенности процессов болотообразования. Целью исследования является оценить вклад показателей исходных условий заболачивания, геоморфологических и позиционных факторов на современном этапе развития болотного массива в интенсивность гидроморфной трансформации почвенного и растительного покрова прилегающих к болотам территорий с использованием метода кластерного анализа.

Объектами исследования являются 8 ключевых участков, расположенных в пределах бассейнов рек Кеть, Чая, Кинда, Томь, Обь. В зависимости от геоморфологического положения участки разделены на три группы: 1) лесоболотные экотоны переходных и верховых болот ложбин древнего стока средне-позднелепистоценового возраста; 2) лесоболотные экотоны верховых болот надпойменных террас позднепалеоценового возраста; 3) лесоболотные экотоны низинных и верховых болот водораздельных равнин среднепалеоценового и эопалеоцено-раннелепистоценового возраста.

Классификация ключевых участков по степени гидроморфной трансформации лесоболотных экотонов проведена с использованием трех блоков показателей: 1) показатели, отражающие исходные геоморфологические условия заболачивания территории (глубина котловины, углы наклона склона котловины); 2) геоморфологические и позиционные факторы влияния болота на современной стадии его развития (мощность торфяной залежи, отношение мощности торфа к глубине котловины, превышение центральной части болотного массива над окраиной, угол наклона поверхности болота, размер болота); 3) показатели, отражающие современное состояние почвенно-растительного покрова и условий увлажнения прилегающих к болотам территорий (увлажнение лесной и болотной частей лесоболотного экотона, глубина залегания ортзанда, глубина верхней границы проявления новообразований соединений железа, мощность лесной подстилки и торфянистого горизонта).

Классификация участков по первому блоку показателей позволила выделить четыре кластера. Первый кластер включает участки, расположенные в ложбинах древнего стока на Томь-Обском и Кеть-Чулымском междуречьях. Участки отличаются максимальными значениями глубин котловин (более 4 м), являющихся очагами заболачивания, и углов наклона их склонов. Второй кластер включает участки на террасе р. Томи и в бассейне р. Кинда. Для участков характерны максимальные значения углов наклона минерального дна болота при относительно не глубоких котловинах в пределах 1,5-3 м. Для третьего кластера, объединяющего участки на террасе р. Кеть и водораздельной равнине (бассейн р. Бакчар), характерны минимальные значения всех рассматриваемых показателей. Глубина котловины изменяется в пределах 1-1,5 м, углы наклона ее склонов менее 1°. Четвертый кластер включает участки со средними значениями глубин котловин (2,5-3,6 м) и углами наклона в пределах 1-2°.

Классификация участков по второму блоку показателей позволила выделить три кластера. Первый кластер объединяет переходное болото в ложбине древнего стока на Обь-Томском междуречье и низинное болото в бассейне р. Кинда, имеющие схожие значения мощности торфа и практически полное отсутствие превышения центральной части болота над окраиной и наименьшее отношение мощности торфа к глубине котловины (около 0,5). Второй кластер частично совпадает с результатами классификации по исходным условиям

заболачивания, включает в себя верховые болотные массивы разной площади. Отличительной особенностью являются максимальные значения отношений мощности торфа к глубине котловины. Третий кластер включает небольшие по площади верховое и переходное болото на Обь-Томском междуречье схожие по мощности торфа и имеющие средние значения отношения мощности торфа к глубине котловины.

Результаты кластерного анализа по третьему блоку показателей отражают влияние региональных особенностей процесса заболачивания территории. Отдельный кластер образуют ключевые участки, расположенные на Обь-Томском междуречье. Следующий кластер объединяет участки 5 и 6, включающие крупные верховые болотный массива в бассейне р. Кети. В наиболее близкий подкластер попадает ключевой участок в бассейне р. Кинда в южной части Томской области, что подтверждает влияние размера болотного массива на степень гидроморфной трансформации прилегающих территорий. Отдельный кластер образует ключевой участок в бассейне р. Бакчар, отличающийся значительной степенью гидроморфной трансформации почвенно-растительного покрова и протяженностью зоны влияния болота на прилегающие территории.

Кластерный анализ показал, что на формирование гидроморфной трансформации лесоболотных экотонов оказывают влияние как локальные, так и региональные факторы развития. Возможность формирования верховых болотных массивов в пределах ключевых участков определено исходными геоморфологическими условиями заболачивания территории. Разделение участков со схожими исходными локальными условиями заболачивания на разные кластеры по современному состоянию лесоболотных экотонов связано с влиянием региональных особенностей и расположением в пределах разных геоморфологических уровней. Разделение ключевых участков на кластеры отражает различия в степени гидроморфной трансформации лесоболотных экотонов. Наименьшая степень гидроморфной трансформации характерна для участков, расположенных на Обь-Томском междуречье, средняя – для лесоболотных экотонов верховых болот, расположенных в пределах ложбин древнего стока и надпойменных террас в бассейне р. Кеть, а также лесоболотного экотона низинного болота в бассейне р. Кинда. Наибольшая степень гидроморфной трансформации характерна для лесоболотного экотона Бакчарского болота.

Исследование выполнено в рамках государственного задания № 007-00496-16ПР по теме «Разработка методики эколого-мелиоративного мониторинга и геоинформационного моделирования состояния и динамики ландшафтного покрова заболоченных территорий» (статистический анализ данных) и при частичной финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-35-00387 –мол_а (оценка гидроморфной трансформации ключевого участка в пределах Бакчарского болотного массива).

МОНИТОРИНГ БИОРАЗНООБРАЗИЯ СОСУДИСТЫХ РАСТЕНИЙ В ВЫСОКОГОРНЫХ ЛИСТВЕННИЧНИКАХ СЕВЕРО-ЧУЙСКОГО ХРЕБТА (ГОРНЫЙ АЛТАЙ)

Тимошок Е.Е., Белова М.Н., Тимошок Е.Н., Скороходов С.Н.

Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН (г. Томск)
marina_dirks@mail.ru

Высокогорные лиственничные леса являются широко распространенным, и при этом, сравнительно слабоизученным типом экосистем Горного Алтая. Стабильность этих лесов является важнейшим аспектом экологической безопасности этой территории, так как леса обеспечивают регуляцию поверхностного и почвенного стока, снегозадержание и предотвращение оползней, селей и эрозии почв за счет фиксации субстрата склонов.

Изучение биоразнообразия наземных ярусов и его мониторинг является важным аспектом экологических исследований, поскольку может быть использовано для оценки их стабильности, контроль которой необходим для оценки экологической безопасности.

Исследования проводились на высотных экологических профилях, заложенных на восточном и западном склонах долины р. Актру (2000-2250 м над ур. м.). В ландшафте склонов выделены 2 типа мезоэкотопов: 1 – крутые участки (до 30-40°) верхних частей склонов с неспокойным ландшафтом и сложным ложбинно-гривистым мезорельефом, сформировавшимся под воздействием лавин, селей, временных водотоков, 2 – выположенные (5-15°) участки нижних частей склонов. Для оценки α -разнообразия использовали показатели инвентаризационного разнообразия: общее видовое богатство лиственничников, дифференцирующего разнообразия – коэффициент Жаккара (K_j) [1]. Функциональное разнообразие оценивали по соотношению экологических групп [2].

Обследованные высокогорные лиственничники отличаются высоким видовым богатством, включающим 102 вида сосудистых растений из 72 родов и 37 семейств. Преобладают 7 семейств: Poaceae, Asteraceae, Ranunculaceae, Caryophyllaceae, Rosaceae, Fabaceae, Apiaceae, в которые входит 55 видов (76,4%). Крупный род один – *Poa*, включающий 5 видов. В их флористическом комплексе преобладают азиатские виды (47,1 %). Здесь обнаружено значительное участие эндемичных видов (8,8 %), среди которых 3 эндемика Алтае-Саянской горной области (*Festuca sphagnicola*, *Geranium laetum*, *Hedysarum austrosibiricum*) и 6 эндемиков гор Южной Сибири (*Betula rotundifolia*, *Elymus sajanensis*, *Hieracium czamyjashense*, *Poa altaica*, *P. krylovii*, *Silene chamarensis*). Среди эколого-географических групп на первом месте – лесные горно-равнинные (31,4%), на втором – альпийские (23,5%), третьем – горно-равнинные плюризональные (21,6%) виды.

Мезоэкотопы нижних пологих частей склонов отличаются более высоким инвентаризационным разнообразием – 72 вида (70,6% флоры) из 55 родов и 33 семейств. Ведущие семейства – Poaceae, Asteraceae, Caryophyllaceae. Крупные роды отсутствуют. Во флористическом комплексе преобладают азиатские (43,1%) и евразийские виды (34,7%). Здесь отмечены 3 алтае-саянских и 2 южносибирских эндемика. В эколого-географическом спектре на первом месте лесные горно-равнинные (33,3%), на втором-третьем – высокогорные (23,6%) и горно-равнинные плюризональные (23,6%) виды.

На верхних крутых частях склонов инвентаризационное разнообразие ниже – 63 вида (61,8% флоры) из 53 родов и 29 семейств. Ведущие семейства – Poaceae, Asteraceae, Ranunculaceae. Крупный род один – *Poa* (4 вида). В составе флористического комплекса наиболее представлены азиатские виды (49,2%), на втором месте – евразийские виды (34,7%). Здесь отмечен только 1 алтае-саянский эндемик и 3 эндемика гор Южной Сибири. Здесь также на первом месте находятся лесные горно-равнинные (33,3%), на втором горно-равнинные плюризональные (25,4%), на третьем – высокогорные (23,8%) виды.

Для мезоэкотопов выделено 35 общих видов (34,3% флоры). Их флористические комплексы имеют низкий уровень сходства (коэффициент сходства Жаккара 0,35).

Значительные различия экологических условий в мезоэкотопах нижних и верхних частей склонов проявляются в участии специфических видов, отмеченных только в одном из них. Более высоким видовым своеобразием отличаются лиственничники нижней пологой части склонов, где 37 видов (51,4%) являются специфическими, в верхней крутой части склонов таких видов 28 (44,4%).

Оценка функционального разнообразия высокогорных лиственничников по участию экологических групп показала абсолютное преобладание лесных видов – мезофитов (53,9%); участие психрофитов – и во флоре всего ландшафта лиственничников, и в обоих мезоэкотопах почти в 2 раза ниже; еще ниже участие петрофитов, гигрофитов, ксерофитов (14,0-17,5 %).

В составе высокогорных лиственничников зарегистрировано 30 % видов, приведенных А.В. Куминовой [3] для флоры лиственничных лесов всего Русского Алтая (341 вид). В то же время флора обследованных лиственничников, сформировавшихся на боковых моренах ледника Актру, около 4 000 лет назад занимавшего все верховья р. Актру, исторически молода; имеет миграционный характер, о чем свидетельствует большое число одно- и двухвидовых семейств и одновидовых родов. Видовое богатство высокогорных лиственничников почти равно таковому в старовозрастных кедровниках (104 вида) [4], но значительно ниже, чем в молодых постгляциальных ландшафтах, где видовое богатство сосудистых растений составляет 116-176 видов [5, 6].

В экологическом пространстве высокогорных лиственничников господствуют лесные виды – мезофиты, что отражает лесной характер их флоры. Однако их высотное расположение в непосредственной близости от горных тундр определяет значительное участие (около 30 %) психрофитов.

Высокогорные лиственничные леса в их текущем состоянии имеют значительное экосистемное, видовое и функциональное биоразнообразие, в полной мере обеспечивающее устойчивость лиственничных лесов на верхней границе их распространения на Северо-Чуйском хребте. Не выявлено признаков упрощения экосистем, а также инвазий видов растений, что может говорить об угрозах для этих экосистем. В настоящий момент эти высокогорные леса устойчивы и способны сохранить тот вклад в экологическую безопасность, который они осуществляют.

1. Шмидт В.М. Математические методы в ботанике. – Л.: Изд-во ЛГУ, 1984. – 288 с.

2. Global biodiversity assessment / Heywood V.H. (ed.). – New York, Cambridge, Cambridge University Press, 1995. – 1140 p.

3. Куминова А. В. Растительный покров Алтая. – Новосибирск: Изд-во СО АН СССР, 1960. – 450 с.

4. Тимошок Е.Е., Тимошок Е.Н., Райская Ю.Г. Биоразнообразие сосудистых растений в старовозрастных лесах Северо-Чуйского центра современного оледенения (Горный Алтай) // Успехи современного естествознания. – 2018. – № 11. – С. 389–394.

5. Тимошок Е. Е., Нарожный Ю. К., Диркс М. Н., Скороходов С. Н., Берёзов А. А. Динамика ледников и формирование растительности на молодых моренах Центрального Алтая. – Томск: Изд-во НТЛ. – 208 с.

6. Timoshok E. E., Timoshok E. N., Skorokhodov S. N., Raikaya Yu. G., Gureyeva I. I. Biodiversity of the vascular plants in the young fluvio-glacial landscapes in the Severo-Chuiskiye centre of present-day glaciation (the Central Altai) // International Journal of Environmental Studies. – 2017. – 74(5). – P. 664–673.

ОСОБЕННОСТИ ПОСЛЕПОЖАРНЫХ СУКЦЕССИЙ В ДОЛИНЕ Р. АКТРУ (ЦЕНТРАЛЬНЫЙ АЛТАЙ)

Тимошок Е.Н., Тимошок Е.Е., Савчук Д.А.

Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН (г. Томск)
ten80@mail.ru

Лесные пожары являются одной из самых распространенных природных катастроф и экологическим фактором в серьезной степени определяющим распространенность экосистем. Склоны долины р. Актру (Северо-Чуйский хребет, Центральный Алтай) практически полностью покрыты лиственничными лесами, сформировавшимися после пожаров произошедших около 100 и 200 лет назад. Наличие на склонах каменистых полос осыпей и селей создает на склонах долины естественные противопожарные полосы, которые обеспечили разновременность пожаров, а также защитили отдельные участки старовозрастных кедровых и лиственничных лесов, включающих три поколения деревьев с возрастом до 500 и более лет [1].

Проблема изучения послепожарных сукцессий в условиях высокогорного Алтая представляет значительный научный интерес, так как в условиях высокогорий невозможно протекание типичных для бореальных лесов послепожарных сукцессий, происходящих по схеме: «разнотравная гарь – кустарниковая стадия – лиственный лес – смешанный лес – хвойный лес» [2, 3]. Важнейшей причиной этого является то, что лиственные деревья отсутствуют в верхней части горно-лесного пояса.

В целом, изучение послепожарных сукцессий значительно осложнено отсутствием в пределах одного макроэкоотопа участков с разной степенью восстановления, что не позволяет применения метода хронопоследовательности. В большинстве случаев подобные исследования имеют целью построение хотя бы общей схемы сукцессии, аналогичной приведенной ранее, и определения общей тенденции послепожарного восстановления экосистем.

Наличие в условиях макроэкоотопа обоих бортов долины долины р. Актру естественных противопожарных полос и участков лиственничных лесов, находящихся на разных стадиях послепожарной сукцессии, позволило авторам установить общую направленность и особенность сукцессионных смен в верхней части горно-лесного пояса Северо-Чуйского хребта.

В качестве методической основы была использована концептуальная модель вторичной сукцессии IFC (Initial Floristic Composition = Изначальный Флористический Состав), предложенная J. McCormic [4] и хорошо апробированная при проведении подобных исследований: изучении вторичных сукцессий в Европе и Северной Америке. Согласно этой модели, пожар уничтожает растительность, но не разрушает почву и не затрагивает банк семян, а также не изменяет потоки зачатков растений. В связи с этим все виды участники-сукцессии колонизируют нарушенное местообитание одновременно и дальнейшие сукцессионные смены происходят за счет смены доминантов при малом изменении биоразнообразия, а не через элиминацию видов, доминировавших на более ранних стадиях, как при первичных сукцессиях.

Исследование показало присутствие в бассейне 5-стадийной послепожарной сукцессии, протекающей по модели ингибирования, предложенной J.H. Connell и R.O. Slatyer [5]. После ненаблюдаемых фактически, но реконструируемых и в целом типичных для послепожарных сукцессий разнотравной стадии гари и кустарниковой стадии более быстро растущая лиственница сибирская (Деревья и кустарники СССР, 1949) становится доминантом древесного яруса, что приводит к включению ингибирования кедра сибирского – кедр подавляется лиственницей. Это хорошо объясняет наблюдаемый в долине р. Актру состав древесного яруса лиственничных лесов, в котором отсутствует кедр. Лиственничный лес проходит три подстадии: от молодого до старовозрастного лиственничного леса. Эти подстадии включают: подстадию молодого леса, подстадию плато – то есть продолжительно сохраняющегося почти неизменным лиственничного леса, в котором практически отсутствует подрост лиственницы и подстадию старовозрастного леса, состоящую в первую очередь из старых деревьев лиственничных лесов.

венницы. Практически все послепожарные лиственничные леса обследованной территории в настоящее время находятся на стадии плато. Однако, помимо них в долине присутствуют так же несколько фрагментов старовозрастных лиственничных лесов, таким образом, эта стадия сукцессии хорошо наблюдается. Гибель значительного числа деревьев лиственницы, вызванная природным нарушением или старением лиственницы, прекращает ингибирование кедра и приводит к переходу развивающегося леса на стадию материнского полога. На этой стадии под материнским пологом, сформированным выжившими особями лиственницы, формируется основной ярус, состоящий из кедра. Участок, находящийся на этой стадии, был обнаружен в нарушенном (вероятно, лавиной) лиственничном лесу. Развитие сменившегося яруса приводит к формированию молодого кедрового леса.

Таким образом, основными особенностями данной сукцессии, протекающей на склонах долины р. Актру являются:

а) Необычный для бореальных лесов характер смены экологических стратегий и жизненных форм доминантов в ходе сукцессии: «кустарник-эксплерент – дерево-слабый виолент – дерево-сильный виолент», вместо «кустарник-эксплерент – дерево-эксплерент – дерево-виолент».

б) Протекание сукцессии по модели ингибирования, а не по модели толерантности типичной для послепожарных сукцессий в зоне бореальных лесов Северного полушария.

в) Крайне высокая продолжительность сукцессии (500+ лет) на большинстве участков, обусловленная большим сроком продолжительности жизни деревьев лиственницы и, соответственно, лиственничной стадии. Следует отметить, что частота пожаров на Алтае значительно ниже продолжительности сукцессии, что приводит к тому, что в большинстве случаев стадия кедрового леса не достигается, а сами кедровые леса представляют значительную редкость.

1. Бочаров А.Ю. Структура и динамика высокогорных лесов Северо-Чуйского хребта (Горный Алтай) в условиях изменений климата // Вестник Томского государственного университета. 2011. № 352. С. 203–206.

2. Н. Ф. Реймерс. Азбука природы. Микрэнциклопедия биосферы. — М.: «Знание», 1980. 208 с.

3. Alaska's Forest and Wildlife [электронный ресурс] // Alaska Department of Fish and Game. URL: https://www.adfg.alaska.gov/static/education/educators/curricula/alaskawildlifecurriculum/pdfs/alaskas_forests_wildlife_curriculum.pdf (дата обращения 10.07.2019).

4. J. McCormic. Succession // *Via*. 1968. №1. P. 22-35.

5. J.H. Connell, R.O. Slatyer Mechanisms of succession in natural communities and their role in community stability and organization // *American Naturalist*. 1977. №11. P. 1119-1144.

СЕЗОННАЯ ВАРИАЦИЯ УСЛОВИЙ ФОРМИРОВАНИЯ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ВОД СЕВЕРО-ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ ВАСЮГАНСКОГО БОЛОТА

Харанжевская Ю.А.^{1,2}, Чудиновская Л.А.², Синюткина А.А.¹

¹ Сибирский научно-исследовательский институт сельского хозяйства и торфа – филиал Сибирского федерального научного центра агроботехнологий РАН (г. Томск)

² Томский государственный университет (г. Томск)

kharan@yandex.ru

Химический состав болотных вод имеет региональные особенности, зависит от типа и свойств торфяной залежи, климатических и гидрогеологических условий территории [1]. При этом условия формирования химического состава болотных вод имеют весьма значительные сезонные вариации [2]. Поэтому целью данной работы является исследование сезонной вариации условий формирования химического состава болотных вод Западной Сибири на примере участка северо-восточных отрогов Васюганского болота.

Исследования проводились на участках многолетнего мониторинга в районе, удаленном от антропогенного воздействия в пределах типичных болотных микроландшафтов Васюганского болота, характеризующихся различной динамикой водного режима, мощностью торфяной залежи: высокий рям, низкий рям, осоково-сфагновая топь. Отбор проб болотной воды осуществлялся с глубины 30-40 см с периодичностью 1 раз в месяц за период 2012-2018 гг. из специально оборудованных водоотборных колодцев глубиной 1 метр. Химический анализ болотных вод выполнялся в Лабораторно-аналитическом центре СибНИИСХиТ-филиале СФНЦА РАН. Анализ исходных данных проводился с применением метода главных компонент (РСА).

Факторный анализ (РСА) показал, что в апреле температура воздуха является ведущим фактором формирования химического состава болотных вод, в прямой корреляционной зависимости с которым находятся почти все компоненты болотных вод Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , $\text{Fe}_{\text{общ}}$, HCO_3^- , SO_4^{2-} , Cl^- , NH_4^+ , NO_3^- , а также $\text{C}_{\text{орг}}$ и Pb . С увеличением количества атмосферных осадков идет разбавление болотных вод, следовательно, концентрации главных компонентов снижаются. Вторым фактором, который определяет изменчивость концентраций K^+ и Zn в болотных водах является температура воды и торфяной залежи соответственно. Оттаивание торфяной залежи и повышение температуры приводит к извлечению K^+ из водного раствора корнями растений, что свидетельствует о значительной роли биологических процессов в формировании состава вод. Рост температуры в торфяной залежи приводит к активизации биохимических процессов и к росту концентраций Zn .

В мае складывается неоднозначная картина, отмечается значительное повышение температуры, снижение уровней болотных вод и яркое проявление «граничного» эффекта», идет сочетание закономерностей апреля и июня. Концентрация Ca^{2+} , K^+ , NH_4^+ , Cl^- , Zn растет прямо пропорционально росту среднемесячной температуры воздуха, и обратно пропорционально количеству выпавших атмосферных осадков. Вторая компонента связывает температуру в день отбора проб с концентрацией ионов Mg^{2+} , SO_4^{2-} , NO_3^- , HCO_3^- и pH , отмечено, что с повышением температуры, падает концентрация данных элементов и pH . Третья и четвертая компонента отражают особенности поведения отдельных элементов в водах: так наблюдается снижение содержания $\text{Fe}_{\text{общ}}$ и $\text{C}_{\text{орг}}$ в результате разбавления вод при повышении уровней болотных вод, увеличение Na^+ в связи с его поступлением с атмосферными осадками, и наоборот уменьшение концентрации Pb при комплексообразовании.

В июне-июле наблюдаются увеличение температуры воздуха (первая компонента), а также временами атмосферных осадков, что приводит к снижению концентраций в болотных водах Ca^{2+} , Mg^{2+} , Cl^- , SO_4^{2-} , $\text{Fe}_{\text{общ}}$, Pb , Zn и увеличению $\text{C}_{\text{орг}}$. Вторая и третья компонента отражает в целом аналогичную динамику концентраций Na^+ , K^+ , NO_3^- , NH_4^+ , Cu в болотных

водах в результате разложения органических остатков в торфяной залежи и при поступлении атмосферных осадков.

В августе наблюдается еще более тесная связь химического состава болотных вод с температурой воздуха и в меньшей степени с динамикой выпадения атмосферных осадков, при увеличении температуры происходит рост концентраций Na^+ , NH_4^+ , $\text{Fe}_{\text{общ}}$, Cl^- , SO_4^{2-} , NO_3^- , $\text{C}_{\text{орг}}$, Pb , Cd , и их резкое снижение концентрации при выпадении атмосферных осадков.

В сентябре температурный фактор сместился на второй план, отмечается закономерное снижение концентраций веществ в болотных водах. Первая компонента описывает взаимосвязь количества осадков с содержанием Ca^{2+} , Mg^{2+} , Cl^- , SO_4^{2-} , $\text{Fe}_{\text{общ}}$, NO_3^- , HCO_3^- , $\text{C}_{\text{орг}}$, Pb , показывая, что осеннее разбавление приводит к уменьшению концентраций ионов. Вторая компонента отражает влияние температуры воздуха и торфяной залежи на снижение содержания в водах Na^+ , K^+ , NH_4^+ , что свидетельствует о затухании биогеохимических процессов в торфяной залежи.

Таким образом, исследования показали, что в зависимости от сезона года ведущие метеорологические параметры (температура и атмосферные осадки) могут оказывать различное влияние на химический состав болотных вод. Анализ данных позволил выявить значительную роль биологических процессов в содержании целого ряда компонентов в болотных водах, а также определить источники поступления некоторых компонентов.

Исследование выполнено в рамках государственного задания по теме ПНИ РАН № 0778-2019-0005.

1. Черняев А.М., Черняева Л.Е., Еремеева М.Н. Гидрохимия болот. Л.: Гидрометеиздат, 1989. 429 с.

2. Воистинова Е.С., Харанжевская Ю.А., Синюткина А.А. Особенности гидрохимического режима северо-восточной части Васюганского болота в междуречье рек Бакчар и Икса (Западная Сибирь) // Водное хозяйство России. № 3, 2018. С. 16-34.

Секция 3

ИНФОРМАЦИОННО-ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЕ, ГЕОИНФОРМАЦИОННОЕ И ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ МОНИТОРИНГА

ОЦЕНИВАНИЕ ПОЛЕЙ РЕГИОНАЛЬНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ТЕРРИТОРИЙ ТОМСКОЙ ОБЛАСТИ ПРОДУКТАМИ СЖИГАНИЯ ПОПУТНОГО НЕФТЯНОГО ГАЗА

Алексеева М.Н.¹, Рапута В.Ф.², Яценко И.Г.¹, Ярославцева Т.В.³

¹ Институт химии нефти Сибирского отделения РАН (г. Томск)

² Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН
(г. Новосибирск)

³ Новосибирский НИИ гигиены Роспотребнадзора (г. Новосибирск)
amn@ipc.tsc.ru, raputa@sscc.ru, tani-ta@list.ru

Развитие нефтегазодобывающего комплекса сопровождается значительным техногенным влиянием на окружающую среду. Сжигание попутного нефтяного газа (ПНГ) приводит к поступлению в атмосферу большого количества вредных примесей. Определение ореолов рассеивания загрязняющих веществ является важной задачей. Её решение следует проводить с междисциплинарных позиций на единых методических, метрологических и информационных принципах. В условиях недостаточности сведений об источниках и объемах сжигания ПНГ представляется перспективным использование спутниковой информации. Это позволит получить дополнительные сведения для целей численного моделирования процессов загрязнения атмосферы от действующих факельных установок (ФУ).

Для выявления действующих ФУ на территории Томской области использовались космические снимки Landsat 8 зимнего периода 2017 г. Проведены исследования на территориях 12 месторождений запада области с использованием картографических материалов геоинформационной системы Института химии нефти СО РАН. Определение и картирование ФУ выполнялись поэтапно [1]:

1) Перевод исходных значений пикселей изображения 11 спектрального канала из единиц абсолютного излучения в значения яркостной температуры.

2) Создание в ArcMap цифровых слоев наиболее высокотемпературных пикселей из растров яркостной температуры, полученных на предыдущем этапе и определение зон их теплового воздействия.

На удалениях более 7 км от источника атмосферной примеси достигается вполне равномерное её распределение в слое перемешивания. В этом случае наиболее значимыми параметрами являются средняя высота слоя перемешивания, скорость ветра в нём и величина поперечного расширения шлейфа примеси. В процессах длительного загрязнения возможно дальнейшее упрощение количественного описания процессов. В условиях стационарного и горизонтально однородного пограничного слоя атмосферы для точечного источника концентрацию примеси можно описать соотношением [2]

$$C(r, \varphi) = \frac{\theta \cdot P(\varphi + 180^\circ)}{r}, \quad (1)$$

где $\theta = \frac{M}{2\pi \cdot u \cdot h}$, M – мощность эмиссии источника; u и h – скорость ветра и средняя толщина слоя перемешивания, $P(\varphi)$ – повторяемость направлений ветра за рассматриваемый период времени.

Для совокупности факелов используется принцип суперпозиции. Суммарное поле концентрации $C(x, y, \vec{\theta})$ для рассматриваемой компоненты примеси рассчитывается по следующей формуле

$$C(x, y, \vec{\theta}) = \sum_{k=1}^K \theta_k C_k(x, y), \quad (2)$$

где $C_k(x, y)$ – поле концентрации от k -го факела единичной мощности, определяемое с помощью соотношения (1).

На основе алгоритма обработки растра 11 канала КС Landsat 8 был идентифицированы ФУ на 12 месторождениях Томской области. Корреляция между максимальной яркостной температурой пикселя (участка с ФУ) с площадью зоны термического воздействия составила около 0,9.

Расчёт суммарного поля концентрации примеси проводился с использованием соотношений (1), (2). На основе этого подхода и данных зондирования теплового излучения на рис. 1 представлены результаты численного моделирования региональных полей загрязнения атмосферы от выявленных факелов.

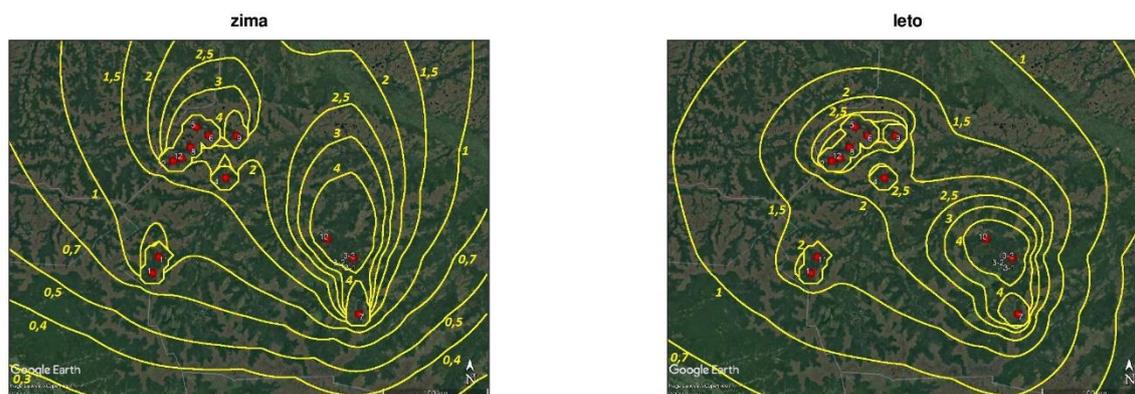


Рисунок 1. Изолинии относительной средnezимней (zima) и среднелетней (leto) концентрации примеси в атмосфере, рассчитанные на основе данных теплового излучения факелов и соотношения (2). ● - расположение ФУ

На рис. 1 расположены нескольких максимумов полей концентраций, обусловленных влиянием групп факелов. Особенности зимней и летней розы ветров заметно проявляются в конфигурациях представленных полей концентраций.

Использование информации с 11 термоканаала спутника Landsat 8 позволило выявить действующие ФУ в западной части Томской области. На исследуемых месторождениях установлены границы зон и площади теплового воздействия, что дало возможность оценить поля регионального загрязнения территорий нефтедобычи. Полученные результаты численного моделирования могут быть использованы при оптимизации размещения наземной сети наблюдений. Эти исследования показывают, что интерпретацию данных космического зондирования теплового излучения нефтегазовых факелов следует проводить на основе модельных описаний процессов переноса примеси и результатов наземного мониторинга загрязнения территорий.

Исследования выполнены при финансовой поддержке госзадания 0315-2019-0004 и при поддержке Проекта НИР V.46.1.2. «Диагностика состояния и восстановление природных экосистем на объектах нефтегазового комплекса Западной Сибири и прилегающих территориях» № ГР АААА-А17-117030310200-4.

1. Алексеева М.Н., Яценко И.Г., Перемитина Т.О. Тепловое воздействие на нефтедобывающие территории Томской области при сжигании попутного нефтяного газа. // Совр. пр-мы дистанц. зондирования Земли из космоса. 2018. Т. 15. № 5. С. 52-60.
2. Рапута В.Ф., Олькин С.Е., Резникова И.К. Методы численного анализа данных наблюдений регионального загрязнения территорий площадным источником. // Оптика атмосферы и океана. 2008. Т. 21, № 6. С. 558-562.

ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА ОБРАБОТКИ ДАННЫХ МОНИТОРИНГА ДЛЯ АНАЛИЗА ПРОЦЕССОВ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ПРИМЕСИ ОТ ПЛОЩАДНЫХ ИСТОЧНИКОВ

Амикишиева Р.А.¹, Сересева О.В.¹, Рапута В.Ф.^{1,2}, Медвяцкая А.М.¹

¹ Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН
(г. Новосибирск)

² Новосибирский институт гигиены Роспотребнадзора (г. Новосибирск)
seresseva@mail.ru, raputa@sscc.ru

На территории города может находиться большое количество источников атмосферных примесей. Это порождает чрезвычайно сложный характер поведения полей концентраций. Существует значительная неопределённость в задании количественного и компонентного состава примесей, процессах их химической трансформации [1].

В сложившейся ситуации мониторинговые исследования состояния загрязнения городской среды представляются актуальными. Система мониторинга должна обеспечивать достоверными сведениями о концентрациях примесей в атмосферном воздухе. Для этого требуется использование весьма значительного количества пунктов наблюдений, что ограничено имеющимися техническими и экономическими ресурсами. Отсюда вытекает необходимость создания математических моделей анализа данных мониторинга, разработки методов пространственно-временной интерполяции полей концентраций. В качестве базовых условий следует использовать соотношения баланса массы примесей, свойства динамики приземного и пограничного слоёв атмосферы.

Исходя из общих закономерностей атмосферной диффузии лёгкой примеси от большого числа низких источников поле концентрации примеси на территории площадного источника S в точке $M(x, y) \in S$ можно представить в виде

$$Q(x, y) = \theta \cdot \iint_S \frac{m(\mu, \sigma) P(\varphi + 180^\circ)}{d^2 e^{\frac{2r_{max}}{d}}} d\mu d\sigma, \quad (1)$$

где (μ, σ) - текущие координаты источника в точке $M_1(\mu, \sigma) \in S$, $m(\mu, \sigma)$ - функция, описывающая эмиссию примеси в области S , $\varphi(\mu, \sigma, x, y) = \arctg \left\{ \frac{y - \sigma}{x - \mu} \right\}$, $d = |M_1 M| = \sqrt{(x - \mu)^2 + (y - \sigma)^2}$, r_{max} - характерное расстояние от точечного источника, на котором достигается максимальная приземная концентрация.

Из соотношения (1) вытекает следующая интерполяционная формула

$$Q_{int}(x, y) = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{R_i}{(x-x_i)^2 + (y-y_i)^2}}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{(x-x_i)^2 + (y-y_i)^2}}, \quad (2)$$

где R_i - измеренное значение концентрации примеси в точке $(x_i, y_i) \in S$, $(x, y) \neq (x_i, y_i)$, $i = 1, \dots, n$.

Выражение (2) позволяет построить миноранту суммарному полю концентрации примеси на территории города и является базовой моделью в создаваемой информационной системе анализа сетевых наблюдений.

В табл. 1 приведены результаты статистического анализа данных измерений субмикронных фракций аэрозоля (PM 2.5, PM 10) в атмосферном воздухе г. Новосибирска на станции Сибирская, 30 за март-июнь 2018 г., где T - температура воздуха, H - относительная влажность, M , D - средние значения и дисперсия концентраций.

Анализ табл. 1 показывает, что средние значения концентраций субмикронных аэрозолей находятся в пределах нормативов ПДК. Тем не менее их минимальные и максимальные значения существенно варьируются. Показатели дисперсии снижаются от холодного периода времени к тёплому.

На рис. 1 представлены результаты измерений концентрации PM 2.5 на станции, расположенной по ул. Сибирская, 30, за март - июнь 2018 г.

Таблица 1. Статистические характеристики PM 2.5, PM 10 на ст. Сибирская, 30.

Март	PM 2.5	PM 10	Т	Н	Апрель	PM 2.5	PM 10	Т	Н
Min	6,5	7,7	-19	33,7	Min	2,7	3,2	-8,2	24,2
Max	253	332,2	6,1	90,3	Max	112,6	132,9	23,2	91,5
M	43,6	53	-4,7	66,8	M	22,9	26,9	5,9	58,6
D	1317,3	2195,5	33,6	125,2	D	243,7	329,8	36,6	332,9
Май					Июнь				
Min	1,1	1,4	0,3	14,6	Min	2,7	3,7	10,9	13,1
Max	76,3	92,3	28	94,7	Max	65,9	76,3	34,9	98,2
M	14,9	16,9	8,7	62,9	M	15,6	17,5	22,2	57,8
D	115,2	146,7	23,1	439,5	D	72,4	88,1	27,9	382,3

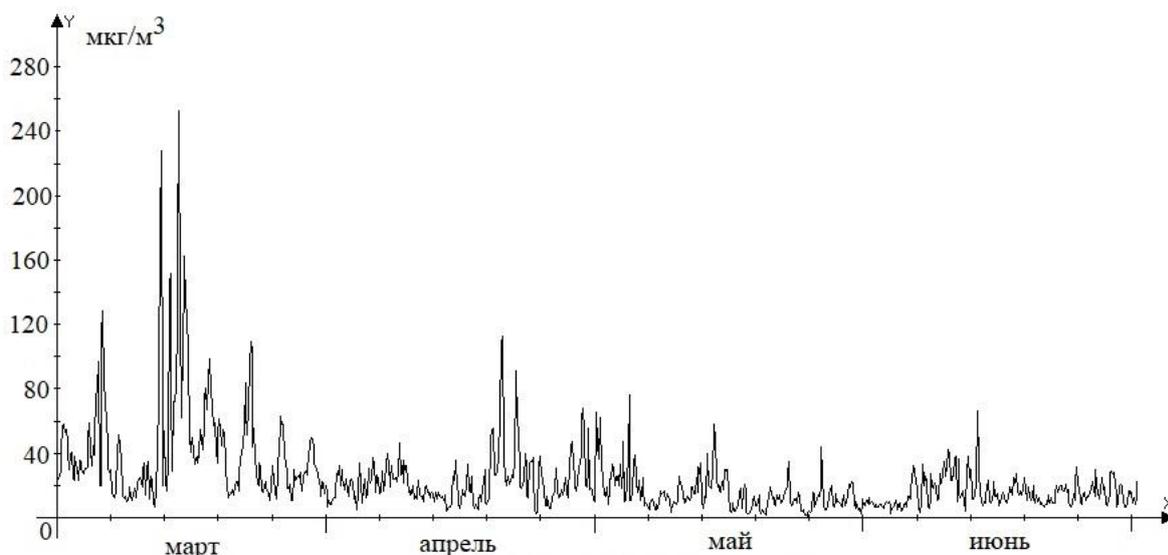


Рисунок 1. Временная динамика изменения концентраций PM 2.5 (мкг/м³) в Новосибирске на станции по ул. Сибирская, 30 за март-июнь 2018 г.

Из рис. 1 видно, что, в целом, наблюдается снижение значений концентраций от зимнего времени к летнему. Образование максимумов концентраций, как правило, соответствует слабым ветрам. С использованием соотношений (1), (2) наблюдения с сети станций могут быть проинтерполированы на территорию города.

Работа выполнена в рамках Госзадания (№ 0315-2019-0004), РФФИ и Правительства Новосибирской области в рамках научного проекта № 19-47-540008 и проекта РФФИ № 18-01-00149.

1. Безуглая Э.Ю., Чичерин С.С., Шарикова О.П. Состояние и перспективы сети мониторинга атмосферы в городах // Труды ГГО. Л.: Гидрометеоздат. 1998. Вып. 549. С. 3-10.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПО ОБРАБОТКЕ И ФИЛЬТРАЦИИ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ДАННЫХ

Аревало Л.Ф.Э., Ботыгин И.А.

Томский политехнический университет (г. Томск)

linkarevalo@yahoo.com

Методы цифровой фильтрации в задачах обработки метеорологических данных, особенно “сырых” данных, очень актуальны [1, 2]. При цифровой фильтрации осуществляется локальная обработка данных скользящим окном. Действия, выполняемые в окне и зависящие от метода фильтрации, определяют отклик фильтра. В настоящей работе представлены результаты сравнительного исследования следующих цифровых фильтров: медианного фильтра, фильтра Баттерворта, сглаживающего БИХ-фильтра с зеркально-симметричными граничными условиями и фильтра на базе вейвлета Мейера. Исходные данные для проведения программных экспериментов были получены с сайта климатического мониторинга IMCES SB RAS 2017 [3]. На рисунке 1 показана информация о влажности почвы в период с 28 сентября по 19 декабря 2018 года (приблизительно 80 дней). Набор данных содержит почти 50000 записей.



Рисунок 1. Исходные данные

Как видно из графика, в данных есть как минимум 4 всплеска, которые могли быть вызваны ошибками. Они должны быть отфильтрованы.

Одним из простейших алгоритмов, который можно использовать, является медианный фильтр. Это – нелинейный фильтр, в котором каждая выходная выборка вычисляется как медианное значение входных выборок в окне [4]. Результаты применения медианного фильтра к данным показаны на рисунке 2. Фильтр не очень эффективен, поскольку устраняет только один из пиков.

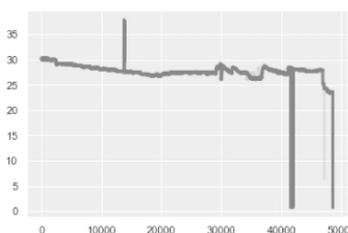


Рисунок 2. Медианный фильтр

Второй возможностью является фильтр Баттерворта – обеспечивает плоскую частотную характеристику (без пульсаций) в полосе пропускания [5]. Это означает, что он не усиливает ни одну из разрешенных частот в сигнале. Фильтр Баттерворта более эффективен, чем медианный фильтр, но тоже не полностью устраняет пики (рис. 3). На рисунке 4 представлен результат работы сглаживающего фильтра с бесконечной импульсной характеристикой и зеркально-симметричными граничными условиями [6]. Это один из самых эффективных фильтров, доступных для такого рода данных.

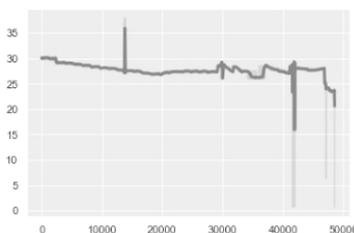


Рисунок 3. Фильтр Баттерворта

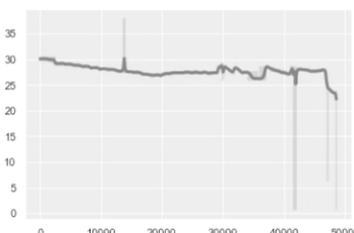


Рисунок 4. Фильтр с бесконечной импульсной характеристикой и зеркально-симметричными граничными условиями

Наконец, стоит рассмотреть возможность фильтрации с помощью вейвлетов [7]. Проблема в том, что есть десятки возможных вейвлетов на выбор. Например, фильтрация на рисунке 5 была выполнена с помощью вейвлета под названием «Дискретный Мейер».

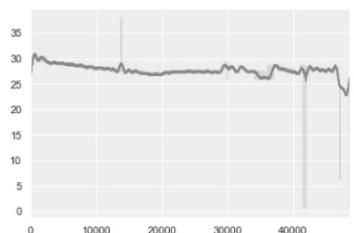


Рисунок 5. Фильтр дискретного вейвлета Мейера

В заключение отметим, что существует множество доступных фильтров, которые можно использовать для минимизации шума в данных. Различные фильтры могут работать лучше в разных ситуациях, но важно проверить их и визуализировать результаты, чтобы решить, какой метод следует использовать.

1. Оппенгейм А., Шафер Р. Цифровая обработка сигналов. – М.: Техносфера, 2007. – 856 с.
2. Гадзиковский В.И. Методы проектирования цифровых фильтров. – М.: Горячая Линия-Телеком, 2007. – 416 с.
3. Система климатического мониторинга IMCES SB RAS 2017 // URL: <http://mon.imces.ru/> (дата обращения: 22.05.2019).
4. Poynton C. Digital Video and HD Algorithms and Interfaces: учебник. – Waltham: Morgan Kaufmann Publishers, 2012. – 707 с. // URL: https://doc.lagout.org/science/0_Computer%20Science/2_Algorithms/Digital%20Video%20and%20HD_%20Algorithms%20and%20Interfaces%20%282%20ed.%29%20%5BPoynton%202012-02-07%5D.pdf (дата обращения: 22.05.2019).
5. Vadim K. How to Design 10 kHz filter (Using Butterworth filter design) // URL: <https://www.egr.msu.edu/classes/ece480/capstone/fall11/group02/web/Documents/How%20to%20Design%2010%20kHz%20filter-Vadim.pdf> (дата обращения: 22.05.2019).
6. Elis G. Control System Design Guide: учебник. – San Diego: Elsevier Academic Press, 2004. – 464 с. // URL: <https://aussiedistiller.com.au/books/Chocaholic/control-system-design-guide-third-edition-using-your-computer-to-understand-and-diagnose-feedback-controllers.%282004%29.9780122374616.33181.pdf> (дата обращения: 22.05.2019).
7. Fugal L. Preview of Wavelets, Wavelet Filters, and Wavelet Transforms // URL: http://www.conceptualwavelets.com/docs/wavelets_ch1.pdf. (дата обращения: 22.05.2019).

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ АНТРОПОГЕННОЙ НАГРУЗКИ ДЛЯ ПРОГНОЗА ЛЕСНОЙ ПОЖАРНОЙ ОПАСНОСТИ

Барановский Н.В.

Томский политехнический университет (г. Томск)
firedanger@yandex.ru

Известно, что лесные пожары главным образом возникают в результате человеческой активности и воздействия наземных грозových разрядов [1]. Следует отметить, что возможные механизмы возникновения лесных пожаров в результате грозовой активности достаточно хорошо изучены, а методы их предсказания разработаны. В тоже время наблюдается отсутствие физически обоснованных методов прогноза лесных пожаров, обусловленных антропогенной нагрузкой. Существуют различные подходы к прогнозированию лесных пожаров, обусловленных антропогенной нагрузкой. Однако, все они основаны на анализе статистических данных, а не на методах детерминированного моделирования. Причем, сами процессы распространения антропогенной нагрузки по лесопокрытым территориям фактически не исследованы. Поэтому необходима разработка математических моделей, которые бы описывали процессы распределения антропогенной нагрузки на контролируемой лесопокрытой территории с учетом пространственно-временной динамики. Установлено, что с увеличением числа жителей вероятность возникновения пожара вблизи населенных пунктов повышается. Распределение источников огня по территории и во времени подобно распределению лесных пожаров и ежегодно воспроизводится лишь с незначительным отклонением по сравнению со средними многолетними данными [2].

Чтобы охарактеризовать уровень антропогенной нагрузки вводится так называемое виртуальное число лесных пожаров. Следует ввести сетку, которая покрывает лесную территорию, прилегающую к населенному пункту или производственному объекту, находящемуся на лесной территории. Только в отдельных точках лесного массива оно будет совпадать с реальным числом лесных пожаров (определенного интегрально для достаточно большой территории), а в промежуточных точках конкретные численные значения будут получены с помощью математической модели. В итоге на каждом шаге по времени определяется поле параметра, который характеризует антропогенную нагрузку. Распространение антропогенной нагрузки рассматривается как детерминированный процесс, так как авторы [3] установили, что процессы принятия решений и поведения, несмотря на влияние многообразных факторов, не являются случайными. Авторы [3] утверждают, что всем людям присущи общие реакции на информацию о структуре и качествах пространства, общие механизмы восприятия этой информации для принятия решения. То есть люди со сходными полями информации проявляют сходные предпочтения мест отдыха, то есть ведут себя в географическом пространстве почти одинаково. На основе подобия процессов теплопереноса и процессов распространения антропогенной нагрузки сформулирована математическая модель пространственно-временной динамики виртуального числа лесных пожаров на лесопокрытой территории вокруг точечного источника. Математически процесс распространения антропогенной нагрузки описывает нестационарным дифференциальным уравнением в частных производных с соответствующими начальными и граничными условиями.

Конечной целью исследований в области антропогенной нагрузки на лесопокрытые территории должна стать система усвоения данных об уровне антропогенной нагрузки (СУДАН). СУДАН, которая должна осуществлять объективный анализ данных, по аналогии с системами усвоения метеорологических данных, может осуществлять этапы анализа и прогноза. Ранее разработана модель компандер-экспандер, которая, по сути, принадлежит к интерполяционному типу процедур анализа данных. Использование этой модели обеспечит гибридный детерминированно-вероятностный прогноз возникновения лесных пожаров от антропогенной нагрузки, когда распространение антропогенной нагрузки моделируется как де-

терминированный процесс, но в итоге вычисляется вероятность возникновения лесного пожара.

На рисунке 1а представлена геометрия области решения. Типичный пример распределения виртуального числа лесных пожаров от населенного пункта представлен на рисунке 1б. Проведено сценарное моделирование распределения антропогенной нагрузки от населенного пункта, промышленного объекта и кемпинга различных размеров (точечные источники большого, среднего и маленького размеров) в идентичных условиях лесопокрытой территории и времени воздействия антропогенной нагрузки. Проведен анализ полученных результатов и установлено, что наибольшее ожидаемое виртуальное число лесных пожаров характерно для крупного населенного пункта. Наименьшее же виртуальное число лесных пожаров характерно для кемпинга малого размера.

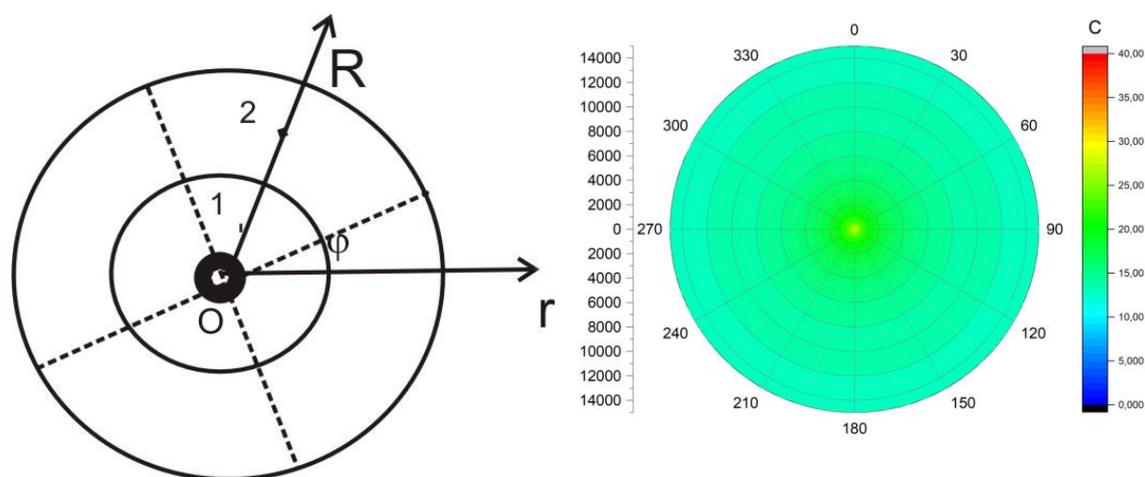


Рисунок 1. Геометрия области решения (а) и распределение виртуального числа лесных пожаров вокруг населенного пункта крупного размера со временем экспозиции 10 часов (б)

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований. Научный проект 17-29-05093.

1. Кузнецов Г.В., Барановский Н.В. Прогноз возникновения лесных пожаров и их экологических последствий. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2009. 301 С.
2. Телицин Г. П. Изучение связи посещаемости лесов и возникновения пожаров // Лесоведение. 1984. № 1. С. 59 – 63.
3. Андреев Ю. А., Ларченко Г. Ф. Социально-психологические аспекты рекреационных посещений леса и возникновение пожаров // Лесные пожары и борьба с ними / ВНИИЛМ. М., 1987. С. 251 – 263.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДАННЫХ ГЛОБАЛЬНОЙ СЕТИ ПЕЛЕНГАЦИИ ГРОЗОВЫХ РАЗРЯДОВ WWLLN ДЛЯ ПРОГНОЗА ЛЕСНОЙ ПОЖАРНОЙ ОПАСНОСТИ

Барановский Н.В.

Томский политехнический университет (г. Томск)

firedanger@yandex.ru

В настоящее время для пространственного анализа данных по лесной пожарной опасности используется спектр программных продуктов – геоинформационных систем [1]: ArcGIS, QGIS, Grass, GeoDMA, eCognition. Однако, авторы [1] предлагают в качестве ГИС-системы использовать библиотеку языка R [2]. В настоящей работе для оценки уровня лесной пожарной опасности используются детерминированные математические модели зажигания деревьев и лесных горючих материалов в условиях грозовой активности [3]. Численная реализация данных моделей выполнена с использованием метода конечных разностей [4]. Использование встроенного, например, в ArcGIS языка программирования ArcPy [5] накладывает некоторые ограничения, так как это не компилятор, а интерпретатор. Поэтому цель исследования формулируется следующим образом. Цель настоящей работы – демонстрация возможностей собственного программного кода, взаимодействующего с пакетом Origin Pro для геоинформационного анализа лесных пожаров, возникающих по причине грозовой активности. Математически процесс газофазного зажигания хвойного дерева наземным грозовым разрядом в рамках предложенной физической модели описывается системой нестационарных дифференциальных уравнений теплопроводности и диффузии [3]. В настоящей работе рассматривается специализированная ГИС-система, созданная на основе собственного программного кода и пакета Origin Pro для визуализации прогнозной информации. Модуль расчета процесса зажигания дерева наземным грозовым разрядом и оценки вероятности возникновения лесного пожара написан на языке высокого уровня Паскаль в среде разработки RAD Studio [6]. Рассматриваемый модуль является консольным приложением с возможностью работы в диалоговом режиме. Пакет Origin Pro выбран в качестве среды визуализации и анализа данных по ряду причин. Например, его использование обеспечивает следующие преимущества: а) стоимость программных средств разработки; б) стоимость самой разработки; в) стоимость конечного продукта – ГИС-системы; г) продвинутые возможности для анализа и обработки данных в такой ГИС-системе. Кроме того, использование пакета Origin Pro оправдано тем, что карты лесничеств не имеют географической привязки и построены в системе «лесничество-квартал» [7]. ГИС конкретной территории представляет собой проект в пакете Origin Pro, а также набор файлов исходной информации. Кроме того, пакет Origin Pro совместим с программой Microsoft Excel, что обеспечивает возможности для подготовки отчетов. Исходная информация по лесотаксационным характеристикам и параметрам грозовой активности хранится в файлах, содержащих матрицы $N \times N$. В этих файлах описывается прямоугольная область, в которую вписана территория Тимирязевского участкового лесничества. Информация по грозовой активности предоставлена системой World Wide Lightning Network, которая аккумулирует данные по грозовым разрядам по территории всей планеты. Таким образом, зная лесотаксационные описания и имея данные WWLLN можно в перспективе разработать ГИС систему любого лесничества как нашего государства, так и лесопокрываемых территорий других государств. Распределение вероятности лесных пожаров представлено на рисунке 1.

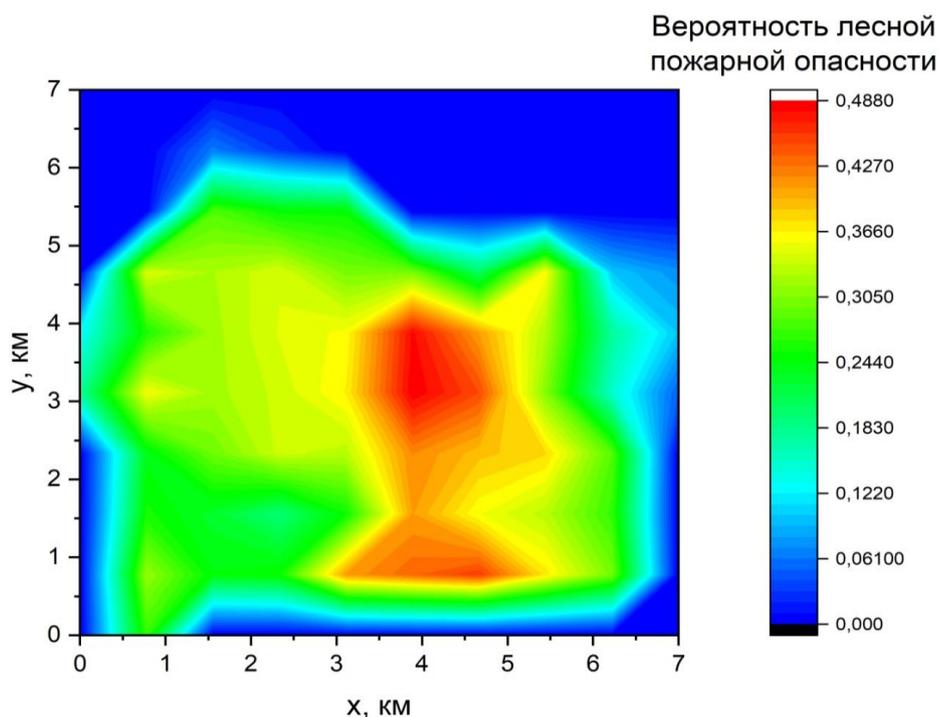


Рисунок 1. Вероятность лесной пожарной опасности на территории Тимирязевского лесничества Томской области

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований и администрации Томской области. Научный проект 16-41-700831.

1. Louvet R, Aryal J., Josselin D., Genre-Grandpierre C. R as a GIS: illustrating scale and aggregation problems with forest fire data // *Procedia Environmental Sciences*. 2015. Vol. 27. P. 66–69.

2. R: A Language and Environment for Statistical Computing Reference Index The R Development Core Team Version 2.6.2 (2008-02-08). 1999–2003 R Foundation for Statistical Computing. Vienna, Austria. 2673 P.

3. Барановский Н.В., Кузнецов Г.В. Математическое моделирование зажигания хвойного дерева в приближении “идеальной” трещины в коре // *XXIX Сибирский теплофизический семинар: Сб. тезисов докладов Всерос. конф.* (Новосибирск, 15–17 ноября 2010 г). Новосибирск: Изд-во Ин-та теплофизики СО РАН, 2010. 30 – 31 С.

4. Самарский А. А., Николаев Е. С. Методы решения сеточных уравнений. М.: Наука, 1978. 590 с.

5. Keranen K., Malone L. *Instructional Guide for the ArcGIS Book*. Redlands, California: Esri Press. 2018. 387 P.

6. Фленов М.Е. Библия Delphi. СПб: БХВ-Петербург, 2011. 674 С.

7. Маценко В. В., Соколов А. Я., Калинин С. И. и др. Генеральный план противопожарного устройства лесов. Т. 1. Пояснительная записка. 5-99.14-17-ПМ / Государственный проектно-изыскательский институт «Росгипролес», Алтайский филиал. Барнаул, 1999. 139 с.

АППАРАТНО-ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ОРНИТОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ АЭРОПОРТА

Власов Е.В.¹, Красненко Н.П.^{1,2}, Кузьмин А.А.¹, Кухта А.Е.³, Раков А.С.^{1,2}

¹ Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН (г. Томск)

² Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники (г. Томск)

³ ООО «Аэропорт Томск»

evvicvl@gmail.com, krasnenko@imces.ru, kuzmich070@gmail.com, artkuh@mail.tomsknet.ru, dipol@ngs.ru

С увеличением интенсивности полётов воздушных судов и снижением их уровня шумности значительно обострилась проблема обеспечения орнитологической безопасности полётов, в связи с чем сегодня актуализируется проблема отпугивания птиц на обширной территории лётного поля [1].

На сегодняшний день наиболее распространённым в аэропортах остаётся биоакустический метод отпугивания птиц. Он основан на использовании звуковых сигналов, имитирующих тревожные крики птиц [2]. Однако, данный метод имеет существенные недостатки, в первую очередь это привыкание. Даже трансляция разных сигналов, не подкреплённых физическим стимулом, со временем приводит к тому, что птицы перестают обращать внимание на эти звуки. Радиус действия биоакустических установок как правило сильно ограничен ввиду их всенаправленности, что особенно критично для обширного пространства лётного поля. Также к недостаткам относится видоспецифичность. Ряд видов птиц (чёрный коршун, ласточки, стрижи и др.) не реагируют на биоакустические репелленты.

Для улучшения эффективности отпугивания птиц был разработан биоакустический комплекс нового типа, состоящий не только из акустического излучателя, но и встроенной системы видеонаблюдения. Данный комплекс решает задачи обнаружения птиц на территории аэропорта при помощи средств видеонаблюдения и при наличии конкретного вида птиц воспроизведения соответствующего акустического сигнала отпугивания в автоматическом режиме.

В комплексе используется мощный направленный акустический излучатель, обеспечивающий высокий уровень звукового воздействия на птиц. Структурная схема комплекса представлена на рис. 1.

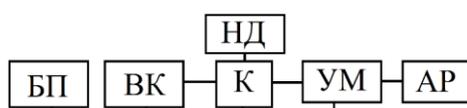


Рисунок 1. Структурная схема биоакустического комплекса: ВК – видеокамера, БП – блок питания, НД – накопитель данных, К – компьютер, УМ – усилитель мощности, АР – акустическая излучающая решётка.

Алгоритм работы системы видеонаблюдения птиц представлен на рис. 2. Программа выполняет обнаружение птиц и автоматическое воспроизведение звуковых сигналов.

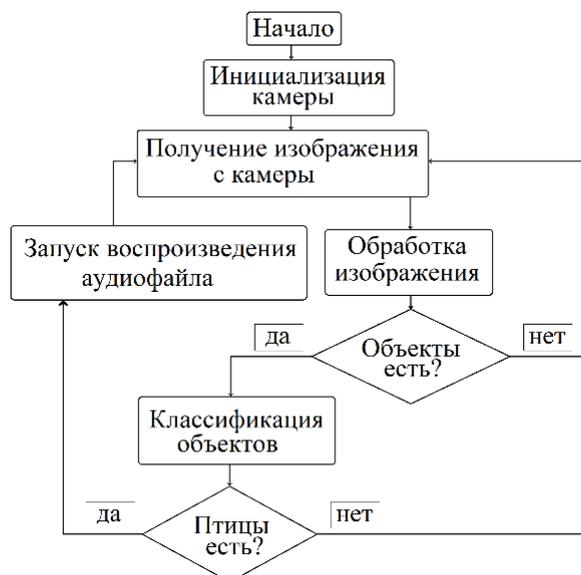


Рисунок 2. Схема алгоритма работы программы.

Для реализации аппаратной части по обнаружению птиц была выбрана цифровая видеокамера и компьютер на четырёх ядерном процессоре Intel Pentium. Программа реализована в среде разработки Qt Creator на языке C++ с использованием библиотеки OpenCV [2].

Акустический излучатель представляет собой плоскую антенную решетку из 25 электроакустических преобразователей и обеспечивает мощное направленное акустическое излучение.

Общий вид биоакустического комплекса показан на рис. 3.

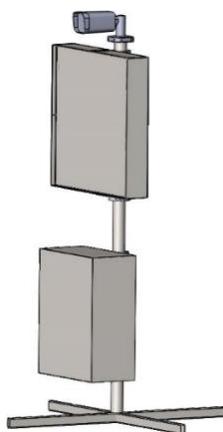


Рисунок 3. Внешний вид биоакустического комплекса на стойке: сверху вниз – видеокамера, акустический излучатель, блок электроники.

Разработанный комплекс выполняет автоматическое воспроизведение выбранного мощного направленного акустического сигнала при наличии птиц в фиксированном районе аэропорта. В докладе приводятся результаты испытаний комплекса.

1. Отраслевая группа авиационной орнитологии. Сайт, посвященный тематике "Защита от птиц". [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.otpugivanie.narod.ru/> (дата обращения: 01.10.2018).

2. Кухта А.Е., Большакова Н.П., Мацюра А.В. Концептуальные подходы к орнитологическому обеспечению безопасности полётов воздушных судов // Вестник Тувинского государственного университета. 2017. № 2: Естественные и сельскохозяйственные науки. С. 96-105.

3. Справочник по OpenCV [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://opencv-tutorial.ru> (дата обращения: 01.10.2018).

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ КЛАСТЕРИЗАЦИИ ТЕМПЕРАТУРНЫХ РЯДОВ

Волков Ю.В.¹, Тартаковский В.А.¹, Катаев С.Г.²

¹ Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН (г. Томск)

² Томский государственный педагогический университет (г. Томск)
yvvolkov@mail.ru, sgkataev@sibmail.com

Исследование пространственно-временной структуры метеорологических полей сводится, во-первых, к выделению областей с одинаковым поведением определенного метеопараметра и, во-вторых, к описанию динамики этих структур [1].

Для нахождения пространственной структуры изучаемого поля, обычно, используются разнообразные методы классификации [2]. Описание же динамики полей сводится, как правило, к нахождению и исследованию поведения трендов соответствующих величин [2, 3].

Методы классификации обычно реализуются в рамках кластерного анализа, относящихся к методам многомерной статистики. Результат классификации зависит как от выбранной системы признаков, так и от использованного алгоритма. Объективного критерия качества кластеризации не существует, поэтому для одних и тех же признаков, разные методы могут приводить и к разным результатам.

Получение классов, т.е. выделение, например, регионов с одинаковым климатом, обычно не является окончательной целью исследования. Результат классификации должно рассматривать в качестве эмпирического обоснования определенной модели или как базу для построения той или иной феноменологической теории. На взгляд авторов, для понимания устройства климата гораздо более полезным является не поиск лучшего метода нахождения классов, а выяснения скрытых связей между применяемой системой признаков и получаемой результирующей структурой классов. Из одних и тех же эмпирических данных, характеризующих метеорологическое поле, можно выделять разные информационные признаки, которые будут отражать различные свойства исследуемого метеополя. Анализируя получаемые признаки можно в результате классификации определять зоны влияния.

В данной работе рассматриваются некоторые результаты, полученные при реализации классификаций временных рядов значений среднемесячных температур на 818 станций Северного полушария за период 1955–2010 гг., проведенных двумя принципиально разными методами. В первом методе – «Метод выделение структур» (МВС) [4] в качестве признаков для каждой станции были выбраны все значения временного ряда. Во втором методе – «Метод динамической кластеризации» (МДК) [5], каждый временной ряд записывался в виде аналитического сигнала, и в результате каждой станции ставилось в соответствие две функции: огибающая и фаза аналитического сигнала. Далее проводилась классификация каждой составляющей.

Ниже приводятся пространственное распределение классов в результате к МВС (рис.1) и МДК (рис.2).

В представленных на рисунках климатических классах, вычисленных разными методами, но использующих одинаковые исходные данные, наблюдаются области, станции для которых попадают в один и тот же класс для всех вариантов классификации. Сходство определяются наличием сходных закономерностей в изменениях, исследуемых климатических параметров. Известно широтное деление климатических классов.

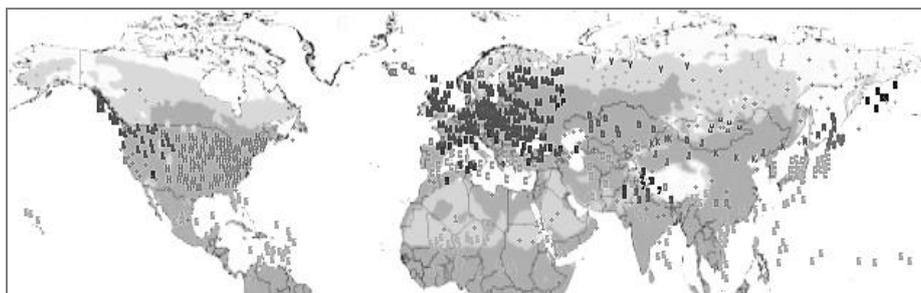


Рисунок 1. Классификация МВС поля температуры Северного полушария Земли.

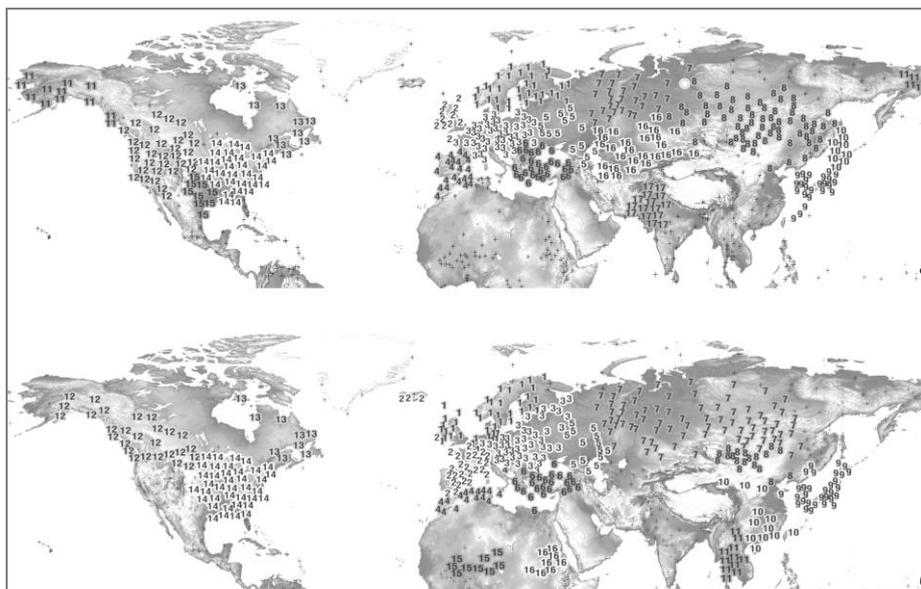


Рисунок 2. Классификация МДК поля температуры Северного полушария Земли:
а) по фазам, б) по огибающим.

Проводя исследование полученных результатов, следует отметить меридиональное расположение станций, относящихся к одному классу этой «совместной» классификации.

1. Салугашвили Р.С. Колебание климата на территории первого естественного синоптического района и климатическое районирование // Ученые записки Казанского университета. 2012. 154, С. 216–227.

2. Хромов С.П., Петросян М.А. Метеорология и климатология: Учебник. 7-е изд. М.: Изд-во Моск. ун-та: Наука, 2006. 582 с.

3. Тартаковский В.А. Синхронный анализ рядов чисел Вольфа и температуры с метеостанций Северного полушария Земли // Оптика атмосферы и океана. 2015. 28, № 2. С. 182–188.

4. В.А. Крутиков, В.А. Тартаковский, А.И. Кусков, Э.В. Иванова. Метод выделения структур как способ увеличения связности региональных и глобальных полей температуры. Оптика атмосферы и океана. Том: 27, № 3 (302) 2014. С: 224-231.

5. Cheredko N.N., Tartakovsky V.A., Krutikov V.A., Volkov Yu.V. Climate Classification in the Northern Hemisphere Using Phases of Temperature Signal // Atmospheric and Oceanic Optics. 2017. 30, № 1. P. 63–69.

ВОЗМОЖНОСТИ ГИС ДЛЯ ПРОСТРАНСТВЕННОГО АНАЛИЗА ОПАСНЫХ ПРИРОДНЫХ ПРОЦЕССОВ, СВЯЗАННЫХ С РАСПРОСТРАНЕНИЕМ ВРЕДИТЕЛЕЙ ЛЕСА

Волкова Е.С.

Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН (г. Томск)
elevelko@yandex.ru

Сфера лесопользования подвержена негативному воздействию ряда процессов как природного, так и антропогенного характера, ведущих к значительным материальным потерям. В группе природных опасностей второе место по величине наносимых лесному хозяйству ущербов стоят вспышки массового размножения насекомых-вредителей. В лесах Западной Сибири такие периодические вспышки происходят довольно часто и носят порой катастрофический характер, что объясняет важность исследования этих процессов и их последствий.

Оценка масштабов деятельности вредителей леса проводится как методами наземного мониторинга, так и дешифрированием аэро- и космоснимков. Полученные в ходе наземного и дистанционного наблюдений результаты формируют массивный банк данных, для удобства работы с которым наиболее эффективно использовать современные геоинформационные системы (ГИС). Функционал ГИС позволяет вводить, хранить, обрабатывать и визуализировать большой объем данных, включающий в себя цифровые и картографические характеристики. Кроме того, ГИС имеют инструментарий, с помощью которого появляется возможность проводить полномасштабный пространственный анализ распространения вредителей леса и тех опасных природных процессов, которые с ними связаны. При этом во внимание берутся факторы, влияющие на распространение вредителя (погодные условия, наличие кормовой базы, условия заселения и т.д.), а также последствия, наносимые лесным экосистемам (гибель древостоя, пожары, изменение биоты и т.д.).

Начальный этап работы предусматривает создание ГИС-проекта, основой которого является банк геоданных, формируемый в каждом конкретном случае для определенного вида вредителя леса. Как правило, банк геоданных имеет систему унифицированных характеристик для всех видов и включает в себя обширный картографический архив, каталог тематических баз данных, цифровую модель рельефа и материалы полихронной аэрофотосъемки сверхвысокого разрешения. Картографический архив состоит из электронных слоев: топографическая основа, схемы лесохозяйственного районирования и административно-территориального деления, местоположения метеостанций и пробных площадок, дорожно-транспортная сеть и т.д. Все цифровые слои должны соответствовать определенному классу пространственных объектов, и все пространственные геоданные приводятся к единой системе координат с учетом проекций, искажений и уровня генерализации.

Фактологические данные включают основные таксационные характеристики насаждений (тип леса, породный и возрастной состав, запас, средний и текущий прирост, класс бонитета и др.), долю усыхания насаждений, средневзвешенную категорию состояния древостоя, среднюю скорость отмирания деревьев в очагах распространения вредителя. Для анализа природно-климатических условий, способствующих распространению вредителя, дополнительно в базу вносятся необходимые для расчетов метеоданные. Для наполнения и систематического обновления базы данных используются ежегодные отчеты Департамента лесного хозяйства, ФБУ «Российский центр защиты леса», материалы лесохозяйственного регламента, результаты полевых исследований, данные Гидрометцентра РФ, Федеральной службы государственной статистики и т.д.

Информация об объектах мониторинга заносится в базу геоданных по существующему административному и лесохозяйственному делению (область, район, лесничество, участковое лесничество, квартал, выдел). За первичные учетные единицы принимаются таксационные выделы, для которых представлена наиболее детальная лесопатологическая информация.

На основе информационной базы данных и картографического архива в рамках ГИС появляется уникальная возможность проведения пространственного анализа с помощью различных встроенных модулей и авторских методик, выбор которых зависит от поставленных задач. Так, например, программный пакет ArcGis позволяет с помощью инструмента Интерполяция на основе ряда многолетних данных по метеостанциям достаточно достоверно и наглядно отражать на карте распределение природных факторов, обуславливающих распространение вредителей. Отображение густоты поврежденных вредителями деревьев эффективно передается с использованием метода плотности ядер, который дает возможность оценить лесопатологическое состояние насаждений и прогнозировать зарождение крупного очага вредителя. Локальная оценка насаждения по степени риска дальнейшего заселения вредителя на неповрежденные деревья оптимальна с помощью метода обратно взвешенных расстояний (ОВР), согласно которому влияние на здоровые деревья, уменьшается по мере удаления от местоположения усохших деревьев. Этот метод хорошо работает, если сеть опорных точек по обследуемым деревьям достаточно плотная.

Пространственный анализ при изучении процессов, связанных с распространением вредителей леса и их последствиями, в большинстве случаев предусматривает процедуру районирования по определенным признакам: уровню вредоносности, степени опасности возможного распространения вредителя, санитарное и лесопатологическое состояние леса, относительная и максимальная площади очагов и т.д.. Районирование территории разного иерархического уровня позволяет выявлять территориальные неоднородности на локальном, региональном и межрегиональном уровнях.

Дополнительные возможности использования ГИС проявляются в ходе расчета экономических последствий негативной деятельности вредителей для лесного хозяйства. Полученный в ходе пространственного анализа картографический материал позволяет визуально оценить значения стоимости и пространственную плотность потерь древесных и недревесных лесных ресурсов, утраты важнейших экологических функций леса, таких как углерододепонирующая, кислородопroduцирующая, почвообразующая и водоохранная.

Таким образом, возможности ГИС-технологий в решении задач пространственного анализа довольно обширны: встроенные модули ГИС-анализа обеспечивают полномасштабную оценку лесопатологического состояния насаждений, создают прогноз зарождения очага вредителя; процедура визуализации результатов пространственного анализа показывает территориальные особенности происходящих процессов, порой без этого трудноразличимых; в конечном счете, создаваемые карты способствуют более оперативному принятию управленческих решений по сокращению рисков лесопользованию.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОДЕРЖАНИЯ ОКСИДОВ ХЛОРА И БРОМА В ПРИЗЕМНОЙ АТМОСФЕРЕ В УФ-ОБЛАСТИ СПЕКТРА

Гейко П.П.

Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН (г. Томск)
ppg11@yandex.ru

Метод дифференциальной оптической абсорбционной спектроскопии является эффективным средством для трассовых измерений концентраций атмосферных и примесных газов. В газоанализаторах на его основе традиционно в качестве источника излучения используется ксеноновая лампа высокого давления, требующая высоковольтного питания, что делает такого рода газоанализаторы громоздкими и энергозависимыми. Благодаря последним достижениям в области создания ультрафиолетовых светодиодов и технологии оптических волокон удалось создать макет портативного энергонезависимого газоанализатора. Газоанализатор включает в себя два ультрафиолетовых светодиода, излучающих в ближней УФ-области спектра, систему световодов, приемо-передающий телескоп, спектрометр и систему обработки [1]. Приводятся описание методики и результаты измерений оксидов хлора и брома с помощью газоанализатора на основе ультрафиолетовых LED-диодов.

В качестве источника излучения апробировались УФ светодиоды, излучающие в области 365 и 395 нм, с мощностью излучения 20 и 30 мВт, соответственно [<http://www.hamamatsu.su/>]. Относительно малый интервал излучения длин волн светодиодов ограничивает измерения до трех газов: диоксида азота (NO_2), монооксида брома (BrO) и диоксида хлора (ClO_2).

Расчет сечений поглощения газов, попадающих в область излучения используемых диодов, проводился с использованием аппаратной функции прибора на основе спектроскопической информации базы HITRAN [<https://www.cfa.harvard.edu/hitran/>].

Для оценки возможностей газоанализатора проводились оценки минимально детектируемых концентраций (МДК), в режиме реального времени. Ключевой характеристикой определяющей чувствительность метода ДОАС является минимально детектируемая толщина D_0 , определяемая статистикой фотоэлектронов (дробовой шум) S_1 , тепловым и фотонным шумами, включая прочие шумы S_2 . Рассчитанная МДК (мкг/м^3) составляет: ClO_2 (диоксид хлора) - 0,09; BrO (оксид брома) - 0,07; NO_2 (диоксид азота) - 5,4. Также проведен расчет МДК для ряда других соединений: $\text{C}_6\text{H}_6\text{O}$ (фенол) - 0,7; C_9H_{12} (триметилбензол) - 20; $\text{C}_9\text{H}_{13}\text{O}$ (триметилфенол) - 30; $\text{C}_8\text{H}_8\text{O}$ (толуилальдегид) - 4; $\text{C}_8\text{H}_{10}\text{O}$ (диметилфенол) - 7; $\text{C}_7\text{H}_8\text{O}$ (крезол) - 4; C_8H_{10} (ксилол) - 20.

Узкополосные спектральные структуры, полученные из измеренной оптической толщи, сравнивались с узкополосными структурами сечений поглощения искомым газам, взятыми из базы данных HITRAN и подвергнутыми процедуре сверки с аппаратной функцией спектрометра. Процедура подгонки состояла из комбинации нелинейного метода Левенберга–Марквардта и стандартного линейного метода наименьших квадратов. Для повышения точности подгонки проводился сдвиг зарегистрированного спектра в пределах $\pm 0,3$ нм с шагом спектрального разрешения спектрометра, что позволило компенсировать изменения связанные с картированием длины волны – пиксель спектрометра, вызванные флуктуациями температуры окружающей среды. Оценка зарегистрированных спектров поглощения по остаточным структурам, и рассчитанная гипотетической оптической толщи, обусловленная поглощением трех газов (монооксида брома, диоксида хлора и азота).

Рассчитанные значения концентраций при использовании светодиода с максимумом 371 нм, составляют: диоксид хлора $7,7 \pm 1,5$ мкг/м^3 ($3,85 \pm 0,75$ ppb); оксид брома $23,5 \pm 2$ мкг/м^3 ($36,4 \pm 3,2$ ppb); диоксид азота $14,8 \pm 1,8$ мкг/м^3 ($7,4 \pm 0,9$ ppb).

Проведена серия измерений концентраций газов монооксида брома (BrO), диоксида хлора (ClO_2) и азота (NO_2) в южной части города Томска. Протяженность трассы составила 500 м (250 м до ретрорефлектора). На рис. 1, 2 представлены временные ходы концентраций

диоксида хлора и оксида брома. Положение измерительной трассы характеризуется как фоновое для указанных газов. Полученные значения концентраций для диоксида азота (NO_2) согласуются с данными полученные со станции “Фоновой” (60 км западнее Томска), где проводятся почасовые измерения диоксида азота.

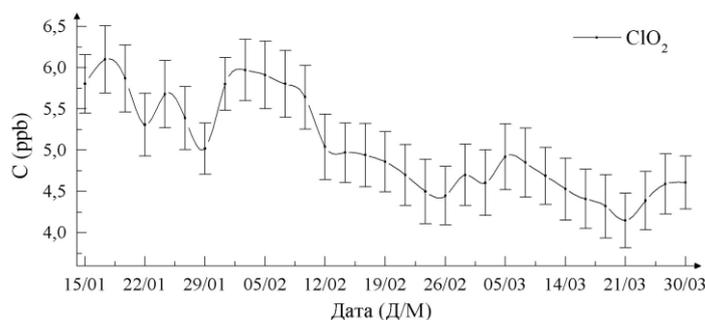


Рисунок 1. Долговременный ход концентрации диоксида хлора

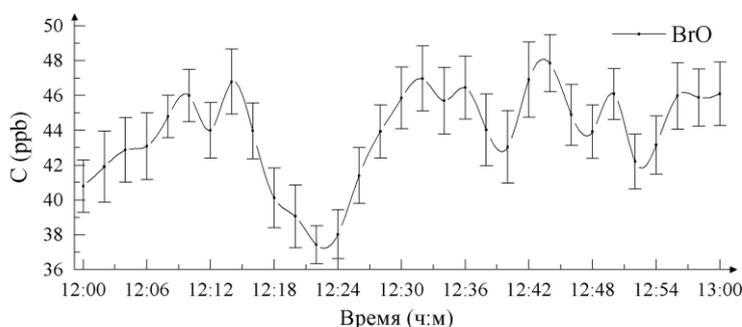


Рисунок 2. Кратковременный ход концентрации оксида хлора

Сравнивались данные для монооксида брома, диоксида хлора и азота с результатами измерений газоанализатором на основе дуговой ксеноновой лампы высокого давления (Osram XBO 150 W). Оказалось, что значения концентраций неплохо согласуются между собой, но при этом ошибки измерений газоанализатором на основе ксеноновой лампы больше в среднем в 1,5 раза. Это обусловлено, прежде всего, различием спектральных характеристик источников излучения. Увеличить отношение сигнал/шум, можно использованием двух или более светодиодов с одинаковыми спектральными характеристиками, объединенных в один оптический канал. Точность измерений можно повысить путем увеличения трассы за счет возрастания оптической толщи измеряемых газов.

Проведенные расчеты и эксперименты показали возможность дистанционного детектирования оксидов хлора и брома с высокой чувствительностью при использовании коммерчески доступных светодиодов УФ-диапазона спектра. Направление дальнейших работ должно быть связано с метрологической аттестацией.

1. P. Geiko, S. Smirnov I. Samokhvalov The application of UV LEDs for differential optical absorption spectroscopy // Proceedings of SPIE, Volume 10614, April 2018.

ОЦЕНКА ВЛАЖНОСТИ ТРОПОСФЕРЫ ПО СИГНАЛАМ ГНСС

Захаров Ф.Н.¹, Филимонов В.А.¹, Красненко Н.П.^{1,2}

¹ Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники (г. Томск)

² Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН (г. Томск)

zakharovfn@main.tusur.ru, krasnenko@imces.ru

В последнее время получило широкое распространение использование сигналов глобальных спутниковых систем навигации (ГНСС) для определения состояния тропосферы [1]. Влияние тропосферы на радиосигналы проявляется в дополнительной задержке навигационных сигналов, вызванной отличием скорости распространения радиоволны (РРВ) от скорости света [2]. Скорость радиоволны в атмосфере зависит от коэффициента преломления тропосферы n , который в свою очередь зависит от метеорологических параметров – температуры T (°К), атмосферного давления P (гПа) и парциального давления паров воды e (гПа). Дополнительная задержка сигнала в тропосфере, выраженная в метрах, определяется интегрированием коэффициента преломления вдоль траектории РРВ [2, 3]:

$$\tau[m] = \int_s (n - 1) ds. \quad (1)$$

При анализе влияния тропосферы на задержку навигационных сигналов принято отдельно рассматривать влияние сухой (гидростатической) и влажной составляющих коэффициента преломления [3]. Соответственно, рассматриваются две составляющих тропосферной задержки – сухая и влажная. Высокая стабильность и монотонное изменение с высотой сухой составляющей задержки (определяется атмосферным давлением) позволяет определить интегральное влагосодержание (IWV) тропосферы [4, 5] и парциальное давление паров воды в воздухе.

Для определения влагосодержания тропосферы необходимо знать истинную тропосферную задержку и приземные значения атмосферного давления и температуры воздуха. Интегральное влагосодержание вычисляется по формуле [4]:

$$IWV[мм] = ZWD[мм] (0,10631 + 1732,83T_m^{-1})^{-1}, \quad (2)$$

где $IWV[мм]$ – интегральное влагосодержание, выраженное в толщине слоя осадённой воды (мм); $ZWD[мм]$ – тропосферная «влажная» задержка (мм), определяемая как разность полной (ZTD) и гидростатической (ZHD) задержек; $T_m = 50,4 + 0,789T_s$ – средневзвешенная температура атмосферы [4]; T_s – приземное значение температуры (°К). Полная тропосферная задержка ZTD оценивается по сигналам ГНСС, а «сухая» задержка ZHD по модели Саастамойнена [3], которая в настоящее время является наиболее точной моделью [6] зенитной тропосферной задержки:

$$ZHD = 0,002277P_s, \quad (3)$$

где P_s – приземное значение атмосферного давления (гПа).

Для примера на рисунке 1 представлена оценка интегрального влагосодержания атмосферы, проведенная в окрестности Томска по сигналам ГНСС. Использовались приземные значения атмосферного давления и температуры воздуха от метеостанции.

Повышенное влагосодержание тропосферы 1 октября соответствует прохождению ливня в период с 15 до 18 часов. В течение 3 октября шёл слабый дождь, при этом значительно повышения влагосодержания не наблюдается. Наблюдается только общее повышение влагосодержания на 2-4 мм осадённой воды.



Рисунок 1. Интегральное влагосодержание тропосферы.

Кроме влагосодержания тропосферы представляет интерес абсолютная влажность воздуха, которая вычисляется по формуле [7]:

$$f = \frac{M \cdot e}{R \cdot T_s}, \quad (4)$$

где $M = 18,01528$ г/моль – молярная масса воды, $R = 8,3144598$ Дж/(моль·К) – универсальная газовая постоянная, e – парциальное давление паров воды (мбар):

$$e = ZWD \cdot \frac{439,17T_s}{1255 + 0,05T_s}. \quad (5)$$

На рисунке 2 представлена оценка абсолютной влажности воздуха за это же время.

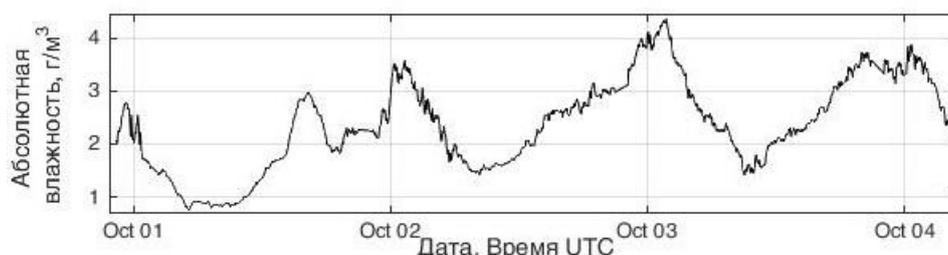


Рисунок 2. Абсолютная влажность воздуха.

Как видно из представленных результатов, использование ГНСС сигналов позволяет проводить регулярные измерения влагосодержания тропосферы и влажности воздуха.

Работа выполнена в рамках госзадания Минобрнауки РФ по проекту № 5.3279.2017/4.6.

1. Хуторова О.Г. Зондирование атмосферы и ионосферы радиосигналами спутниковых навигационных систем – Казань: Казанский федеральный университет. 2011. – 117 с.
2. Яковлев О.И., Якубов В.П., Урядов В.П., Павельев А.Г. Распространение радиоволн. – М.: ЛЕНАНД, 2009. – 496 с.
3. Антонович К.М. Использование спутниковых радионавигационных систем в геодезии: в 2 т. – М.: ФГУП «Картгеоцентр», Т. 1: Монография. 2005. – 334 с.
4. Калинин В.В. Восстановление интегрального влагосодержания атмосферы с помощью глобальных навигационных спутниковых систем // Диссертация на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук. Научный руководитель Тептин Г.М. Казань. 2013. 121 с.
5. Куницын В.Е., Нестеров И.А., Терешин Н.А. Анализ влагосодержания атмосферы по данным приемников GPS // Журнал радиоэлектроники. – 2015. – №. 6. – С. 1-6.
6. Захаров Ф.Н., Михайленко С.А., Тимошин Д.В. Влияние атмосферных явлений на тропосферную задержку спутниковых навигационных сигналов // Известия высших учебных заведений. Физика. – 2018. – № 3. – Т. 61. – С. 116–123.
7. Тверской П.Н. Курс метеорологии. – Л.: Гидрометеиздат, 1962. – 700 с.

РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ ДВУХЭЛЕМЕНТНОГО ИЗМЕРИТЕЛЯ ХАРАКТЕРИСТИК СОЛНЕЧНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Зуев С.В.

Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН (г. Томск)
zuev@imces.ru

Основной сложностью при измерении прямой и рассеянной радиации является необходимость постоянного нацеливания на Солнце актинометра и затеняющего экрана пиранометра, что требует или постоянного присутствия человека или использования автоматических следящих устройств. Поэтому актуальной остается задача по разработке актинометрических измерителей, не имеющих каких-либо подвижных элементов и способных в автоматическом режиме определять основные элементы радиационного режима. С июня 2018 г. на метеосерватории ИМКЭС СО РАН был запущен в опытную эксплуатацию макет измерителя характеристик солнечного излучения [1, 2], использующий в качестве измерительных элементов два пиранометра М-80М, а в качестве затеняющего экрана - разновысокие трубчатые элементы (рис. 1). Такая конструкция измерителя позволяет проводить измерения и определять суммарную Q , прямую S и рассеянную D радиацию в течение 2-5 мин при азимутах Солнца 132° , 146° , 207° , 226° и 240° , что приблизительно соответствует 10, 11, 13, 14 и 15 часам по среднему солнечному времени для июня.

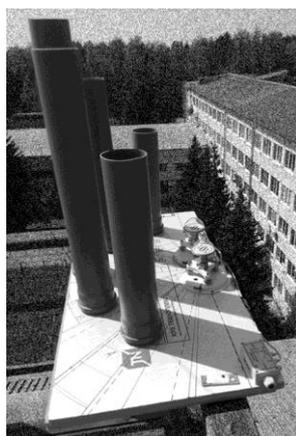


Рисунок 1. Макет измерителя.

Принцип работы двухэлементного измерителя основан на том, что в момент измерения один из пиранометров полностью открыт для Солнца и измеряет максимальное значение солнечной радиации Q_{max} , а второй полностью закрыт от него и измеряет минимальное значение Q_{min} . В результате получаем систему из двух уравнений

$$\begin{cases} Q_{max} = S \cdot \sin h + D - \Delta D_{close}, \\ Q_{min} = D - \Delta D_{close}, \end{cases} \quad (1)$$

где h – высота Солнца, а ΔD_{close} - часть рассеянной радиации неба, перекрываемой затеняющим экраном. Из (1) искомые характеристики солнечного излучения определяются как

$$\begin{cases} S = (Q_{max} - Q_{min}) / \sin h, \\ D = Q_{min} \cdot n / (n - 1), \\ Q = Q_{max} + Q_{min} / (n - 1), \end{cases} \quad (2)$$

где n – коэффициент отношения площади всей полусферы неба к площади затеняющего экрана. Для макета измерителя расчетное значение $n = 6,8$, а предельно возможная инструментальная погрешность измерения Q_{max} и Q_{min} составила не более 17%.

Измерения прямой и рассеянной радиации на метеообсерватории не проводятся, поэтому оценка работы макета измерителя проводилась только по средним измеренным значениям суммарной радиации Q_{cp} путем сравнения их с данными незатененного пиранометра CM11, расположенного рядом и работающего в непрерывном режиме. В таблице 1 приводятся некоторые результаты сравнения, когда небо в течение дня имело преимущественно одинаковое состояние.

Таблица 1. Сравнение средних значений суммарной радиации Q_{cp} макета измерителя (А) и пиранометра CM11 (В).

Азимут, град.	Ясно 2018-08-09 $h_{max} = 49^\circ$				C_s 2018-11-12 $h_{max} = 16^\circ$				S_c 2018-09-01 $h_{max} = 42^\circ$				C_u 2018-09-29 $h_{max} = 31^\circ$			
	n	Q_{cp} , Вт/м ²		V, %	n	Q_{cp} , Вт/м ²		V, %	n	Q_{cp} , Вт/м ²		V, %	n	Q_{cp} , Вт/м ²		V, %
		A	B			A	B			A	B			A	B	
132	4	675	634	8	5	45	43	4	4	89	85	6	4	275	297	15
146	3	693	694	2	5	129	121	12	4	111	105	7	4	175	179	5
207	2	723	714	2	4	93	93	1	3	119	113	7	3	240	250	29
226	3	657	650	1	5	20	21	5	4	76	75	2	4	286	321	23
240	4	581	567	3	4	0	0	-	4	70	66	9	5	269	277	3

h_{max} – максимальная высота Солнца, n – число измерений, V – коэффициент вариации.

Сравнение результатов измерений суммарной радиации показало их хорошее согласование. Наибольшие расхождения наблюдаются при кучевой облачности, что объясняется различиями в алгоритмах обработки первичных данных. Технические возможности макета измерителя позволяют проводить только однократные измерения величин Q_{max} и Q_{min} раз в минуту, в то время как контроллер пиранометра CM11 выдает уже осредненные за одну минуту односекундные измерения. Если при ясном небе и при слоисто- или волнистообразной облачности это различия не приводят к заметным расхождениям, то при очень динамичной кучевой облачности, когда состояние солнечного диска за короткий промежуток времени может меняться с полностью открытого на полностью закрытое, различия в алгоритмах обработки данных могут приводить к заметным расхождениям в результатах измерений.

Площадь затеняющего экрана макета зависит от размеров используемых измерительных элементов, географической широты места установки измерителя и от времени года. Так, для широты Томска, для данной конструкции макета, значения коэффициента отношения площадей может варьироваться в диапазоне $5 > n > 31$ в зависимости от максимальной высоты Солнца для данного времени года. В случае использования в качестве датчиков миниатюрных измерителей, например фотодиодов, габариты прибора можно значительно уменьшить и измерительную часть прибора можно будет разместить, например, в конструктиве пиранометрической головки пиранометра М-80М. Немаловажным преимуществом конструкции измерителя является отсутствие у него каких-либо подвижных частей, что особенно актуально при работе в районах с неблагоприятными климатическими условиями, где любые механизмы могут подвергаться экстремальным нагрузкам при низких температурах.

Работа выполняется в рамках проекта фундаментальных исследований СО РАН IX.138.2.5 "Научно-методические основы создания и использования технологий и информационно-измерительных комплексов для дистанционного мониторинга нижнего слоя атмосферы".

1. Зуев С.В. Многоэлементный ориентированный измеритель характеристик солнечного излучения // Оптика атмосферы и океана. 2019. Т. 32. № 6. С. 504-508. doi: 10.15372/AOO20190615.

2. Способ измерения характеристик солнечного излучения: Пат. 2682590. Россия, МПК51, G 01 W 1/12, G 01 J 1/42. Зуев С.В. ИМКЭС СО РАН. № 2018108486; Заявл. 07.03.18; Оpubл. 19.03.19. Бюл. № 8.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ И ЧИСЛЕННЫЙ АНАЛИЗ ПРОЦЕССОВ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ОКРЕСТНОСТЕЙ ТЭЦ Г. НОВОСИБИРСКА

Коковкин В.В.¹, Рапута В.Ф.²

¹ Институт неорганической химии СО РАН (г. Новосибирск)

² Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН
(г. Новосибирск)

basil@niic.nsc.ru, raputa@sscc.ru

Сжигание больших количеств кислорода на ТЭЦ приводит к поступлению в атмосферу взвешенных веществ, окислов азота, серы, углерода, полиароматических углеводородов. В связи с этим необходим мониторинг выбрасываемых примесей и изучение количественных закономерностей их распространения в атмосфере городов.

В топливно-энергетический комплекс г. Новосибирска входит несколько крупных ТЭЦ и около 200 мелких и средних котельных. Высота основных труб ТЭЦ-2 и ТЭЦ-3 составляет 120 м, для ТЭЦ-5 она достигает 260 м, что способствует распространению примесей на значительные территории.

Для оценки пространственного влияния выбросов крупных ТЭЦ г. Новосибирска на состояние атмосферного воздуха и территорий города проводится достаточно детальный мониторинг загрязнения снежного покрова [1, 2]. Схемы размещения точек отбора проб планировались с учетом условий переноса и рассеяния загрязняющих веществ. Максимальные удаления от труб ТЭЦ-2 и ТЭЦ-3 достигали 3–5 км. В случае ТЭЦ-5 эти расстояния составляли около 20 км. Снеговые керны отбирались при помощи пластмассовой трубы на участках с неповрежденным покровом. Лабораторная обработка снеговых проб заключалась в топлении, фильтровании снеготалой воды с последующими химико-аналитическими определениями.

В случае точечного источника поле концентрации примеси описывается с помощью следующей монодисперсной модели [1]

$$q(r, \varphi, \vec{\theta}) = \theta_1 e^{-\frac{2r_m}{r}} p(\varphi + 180^\circ), \quad (1)$$

где r, φ - полярные координаты с центром в источнике, $p(\varphi)$ – роза ветров.

Параметры θ_1, θ_2 находятся с использованием данных наблюдений методом наименьших квадратов. Параметр r_m определяется по геометрическим и тепловым характеристикам источника [1].

При построении модели оценивания в случае нескольких источников используется принцип суперпозиции полей концентраций и соответственно количество неизвестных параметров становится кратным числу источников [2]. Для повышения устойчивости решения задачи используются методы теории эксперимента.

Результаты лабораторных исследований и расчеты полей концентраций в районе ТЭЦ-2 и ТЭЦ-3 представлены в табл. 1 и на рис. 1.

Таблица 1. Концентрации сульфатов, нитратов и хлоридов в точках отбора проб (мг/л).

Компонент/ № точки	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Сульфаты	7.7	9.1	12.1	13.5	9.5	7.9	7.0	7.3	11.2	7.0	7.0	8.7
Нитраты	1.3	0.7	0.6	0.9	0.8	0.5	0.4	0.4	0.6	0.5	0.4	0.8
Хлориды	1.5	0.6	0.8	2.6	4.3	0.3	0.2	0.3	0.5	0.4	0.3	0.1

Сравнение результатов численного моделирования с экспериментальными данными показывает их удовлетворительное согласие. Заметные отклонения в точках №№ 2, 5, 12 мо-

гут быть обусловлены влиянием локальных источников. В соответствии с розой ветров максимумы выпадений пыли-золы расположены в северо-восточных направлениях от ТЭЦ на расстояниях около 1 км, что указывает на заметную неоднородность дисперсного состава выпадающей пыли.

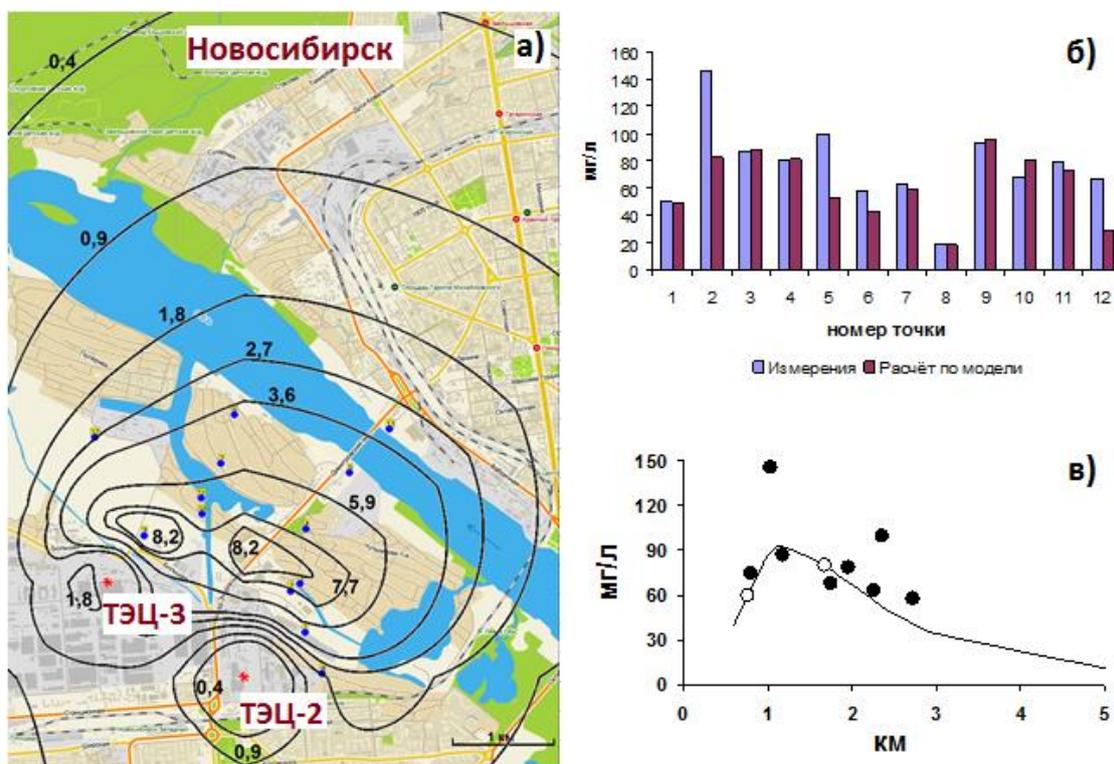


Рисунок 1. Восстановленное суммарное поле выпадений пыли (г/м²) в снегу от ТЭЦ-2 и ТЭЦ-3 г. Новосибирска (а). Измеренная и вычисленная концентрация пыли в точках отбора проб (б). Восстановленная концентрация пыли в северо-восточном направлении от ТЭЦ-2 (в). ○ – опорные, ● – контрольные точки наблюдений.

Результаты исследований показали, что загрязнение левобережной части г. Новосибирска выбросами ТЭЦ-2 и ТЭЦ-3 сравнительно не велико. В целом, динамика уменьшения концентраций пыли происходит по мере удаления от ТЭЦ и вполне согласуется с зимней розой ветров. Численный анализ данных мониторинга снегового покрова в окрестностях крупных ТЭЦ г. Новосибирска выявил существование достаточно характерных закономерностей формирования полей длительного загрязнения городских территорий.

Работа выполнена в рамках Госзадания (0315-2019-0004), РФФИ и Правительства Новосибирской области в рамках научного проекта № 19-47-540008.

1. Рапута В.Ф., Коковкин В.В., Садовский А.П., Олькин С.Е., Резникова И.К., Морозов С.В., Кузнецова И.И., Чирков В.А. Анализ аэрозольных выпадений в окрестностях ТЭЦ г. Новосибирска. // Оптика атмосферы и океана. 2003. Т.16. № 5-6. С. 546-551.

2. Рапута В.Ф., Ахматова Н.П., Ярославцева Т.В. Реконструкция поля аэрозольных выпадений примеси от совокупности источников. // Оптика атмосферы и океана. 2015. Т. 28, № 6. С. 564-568.

РЕАЛИЗАЦИЯ МОДЕЛИ ОЦЕНКИ РИСКОВ ИЗМЕНЕНИЯ СОСТОЯНИЯ ЛЕСНОГО ФОНДА НЕФТЕДОБЫВАЮЩЕГО РЕГИОНА

Кочергин Г.А., Якимчук А.В., Куприянов М.А.

Автономное учреждение Ханты-Мансийского автономного округа
– Югры «Югорский научно-исследовательский институт информационных технологий»
(г. Ханты-Мансийск)
Kochergingina@uriit.ru

В последние годы Правительством Российской Федерации ведется активная работа над внедрением дифференцированного или риск-ориентированного подхода при организации и осуществлении контрольно-надзорных мероприятий, что позволит существенно повысить эффективность расходования ресурсов на функционирование контрольно-надзорных органов путем сосредоточения усилий инспекторского состава государственного надзора на наиболее значимых направлениях. Однако на уровне субъектов Российской Федерации до настоящего времени не сложилось устойчивых практик применения и тем более автоматизации методов риск-ориентированного подхода в деятельности контрольно-надзорных органов.

Для Ханты-Мансийского автономного округа – Югры, являющегося лидером среди российских регионов по добыче нефти и нефтепродуктов, одной из наиболее важных и социально-значимых задач является мониторинг состояния лесного фонда, нагрузка на который со стороны топливно-энергетического комплекса возрастает с каждым годом. Для решения поставленной задачи в рамках риск-ориентированного подхода нами предлагается имитационная модель оценки рисков изменения состояния лесного фонда, которая позволит оценить степень риска аварийных разливов нефти на лицензионных участках и риска незаконных рубок лесных насаждений по участковым лесничествам.

Разработанная авторами модель реализуется алгоритмическими методами в виде определенного набора программных модулей, использование которых позволяет построить цифровую карту, на которой отображены риски аварийных разливов нефти и риски незаконных рубок. Для реализации имитационной модели используются методы машинного обучения и методы пространственного (геоинформационного) анализа данных. Методы машинного обучения основаны на создании, обучении и последующем использовании нейронной сети, которая позволяет обрабатывать большие объемы разнородной информации об объектах исследования. Методы геоинформационного анализа данных используются для учета пространственных свойств объектов исследования. Для каждого вида риска в рамках предлагаемого подхода разработана отдельная нейронная сеть.

С использованием разработанной модели построено две интерактивные цифровые карты, которые опубликованы в сети Интернет с использованием геопортальных решений. Первая, карта оценки риска аварийного разлива нефти, представленная на рисунке 1, отображает 402 лицензионных участка на территории Ханты-Мансийского автономного округа – Югры. Для каждого лицензионного участка с использованием нейронной сети было рассчитано значение степени риска на основе анализа выборки данных объемом более 17000 записей по 83 параметрам. Затем все лицензионные участки были классифицированы на 4 класса в зависимости от степени риска: низкий, умеренный, средний, и высокий. Так как площадь лицензионного участка может превышать несколько сотен квадратных километров, то лицензионные участки с высоким уровнем риска были разбиты на более мелкие участки квадратной формы размером 4 на 4 км, для каждого из которых было рассчитано новое значение степени риска. Лицензионные участки с средним и умеренным риском также были разбиты на участки размером 8 на 8 и 16 на 16 км соответственно для пересчета степени риска. Данная процедура позволила уточнить расположение участков с наибольшим риском аварийного разлива нефти. С использованием имитационной модели (рис. 1) показано, что Мамонтовский лицензионный участок, расположенный в Нефтеюганском районе, имеет

наивысшую степень риска аварийного разлива нефти, а разделение его на более мелкие участки показывает наиболее неблагоприятные территории.

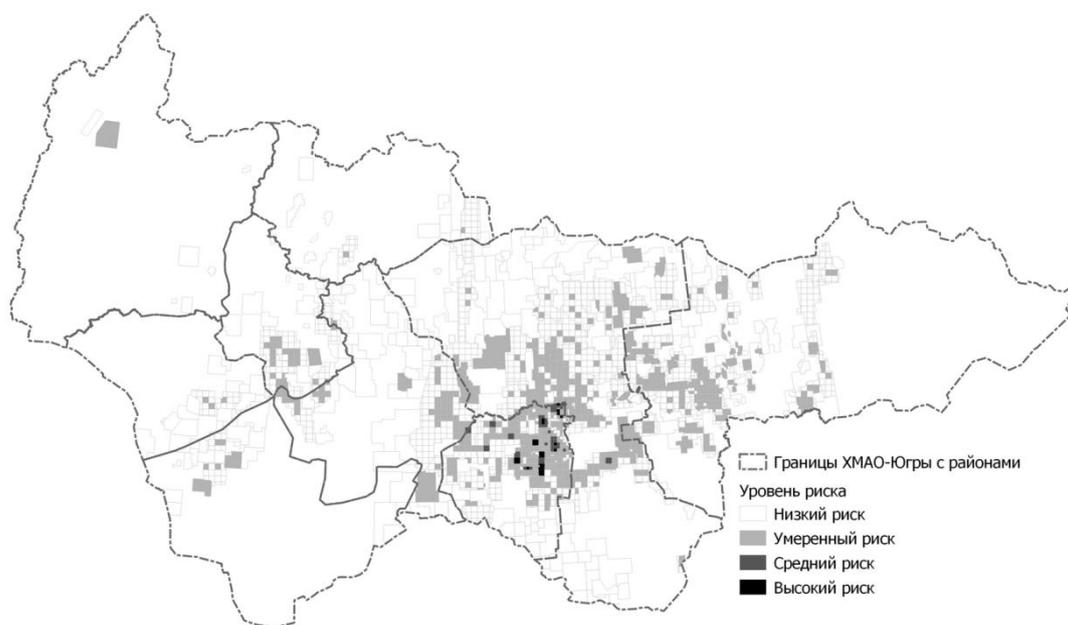


Рисунок 1. Цифровая карта оценки рисков аварийного разлива нефти

Вторая карта оценки риска незаконной рубки лесных насаждений, построенная с использованием имитационной модели на основе анализа выборки данных объемом 3000 записей по 71 параметру, позволила установить, что высокий риск выявления незаконной рубки лесных насаждений определен для Верхне-Кондинского и Морткинского участков лесничеств, расположенных в Кондинском районе. Для других участков лесничеств на территории региона оцененный риск ниже.

Достоверность реализованной модели рисков аварийных разливов нефти и рисков незаконных рубок лесных насаждений, оцененная методом кросс-валидации с использованием тестовых выборок, составляет более 92 %, что можно считать достаточным для решения подобного класса задач.

Представленная имитационная модель оценки рисков изменения состояния лесного фонда, основанная на риск-ориентированном подходе, будет использоваться при осуществлении контрольно-надзорных мероприятий в Службе по контролю и надзору в сфере охраны окружающей среды, объектов животного мира и лесных отношений Ханты-Мансийского автономного округа – Югры.

Работа выполнена в рамках гранта РФФИ № 18-45-860003 «Модель оценки рисков состояния лесного фонда на территории Ханты-Мансийского автономного округа – Югры».

МЕЗОМАСШТАБНЫЕ КОНВЕКТИВНЫЕ КОМПЛЕКСЫ НАД ЮГО-ВОСТОКОМ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

Кошикова Т.С.¹, Кужевская И.В.², Пустовалов К.Н.^{1,2}

¹ Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН (г. Томск)

² Томский государственный университет (г. Томск)
takosh_10@mail.ru

В настоящее время, на фоне происходящих глобальных климатических изменений, отмечается тенденция увеличения повторяемости конвективной облачности и связанных с ней атмосферных явлений на территории Западной Сибири, а также увеличение причинённого ими ущерба [1]. Наиболее опасными проявлениями конвективной облачности являются системы глубокой конвекции, в частности мезомасштабные конвективные комплексы (МКК), с которыми связана высокая молниевая активность, крупный град, интенсивные ливни и сильные шквалы [2]. Сохранение данной тенденции приведёт к дальнейшему увеличению повторяемости МКК и наносимого ими ущерба. Целью данной работы являлась оценка пространственного распределения, условий образования и характеристик МКК над юго-востоком Западной Сибири.

Исследование проводилось для территории юго-востока Западной Сибири, расположенной между 50 и 60° с.ш. и 70 и 90° в.д. При этом в работе за МКК принималось организованное скопление кучево-дождевых облаков диаметром 50 км и более, объединённое общей наковальной.

Для отбора случаев прохождения МКК над юго-востоком Западной Сибири за период с апреля по сентябрь 2008-2018 гг. производилось их визуальное дешифрирование на основе спутниковых изображений облачности, полученных по данным радиометра MODIS [3]. При этом рассматривались МКК, развивающиеся как на атмосферных фронтах, так и во внутримассовых условиях. Определялись координаты центров МКК и проводилась оценка их пространственного распределения по территории. Далее, на основе карт приземного анализа [4] и спутниковых изображений [3] за тёплый период 2015–2018 гг., определялись синоптические ситуации, в которых развивались МКК. Выполнялся анализ атмосферных явлений, наблюдавшихся на исследуемой территории при прохождении МКК, информационной базой для которого послужили журналы штормовых оповещений по данным метеостанций Западно-Сибирского УГМС за период с 2015 по 2018 гг. При анализе использовались данные метеостанций, располагающихся как непосредственно в точке расположения МКК, так и в радиусе 50 км. На заключительном этапе исследования производилась оценка характеристик МКК. Исходными данными для неё послужили облачные продукты MODIS (MODATML2 и MYDATML2), имеющие разрешение 5 x 5 км [5]. Для каждого МКК оценивалась оптическая толщина (COT), высота верхней границы (СТН), интегральное влагосодержание (CWP) и эффективный радиус облачных частиц (CER).

За тёплый период с 2008 по 2018 гг. на территории юго-востока Западной Сибири суммарное количество дней с МКК составило 241 день. Из них, максимум повторяемости наблюдался в 2016 году и составил 31 день. Наибольшая локализация МКК наблюдалась в предгорье Алтая и в районе Салаирского Кряжа. Доля МКК, образованных на холодном фронте, составила не менее 1/3 всех событий. При этом в периоды развития мощных меридиональных переносов эта доля заметно уменьшается.

На основе данных штормовых оповещений выявлено, что при прохождении МКК доля ОЯ «Ливень» отмечается в 15% от общего числа случаев, «Сильный дождь» – в 1%, «Град» – в 7%, а «Сильный ветер» – в 5%. Во все дни с наличием МКК была зафиксирована гроза. На основании этого можно утверждать, что МКК всегда генерируют очаги грозовой деятельности. Проведен анализ ущербов, причиненных МКК. Из 241 случая МКК в 49 случаях был зарегистрирован ущерб, который был как минимум социально-экономическим. Средняя величина ущерба составила 500–800 тыс. руб., а максимальная – более 21 млн. руб.

Для исследуемых случаев МКК значения СТН варьировались от 3,5 до 17,5 км, а её медианное значение составили 12,1 км. Распределение значений СТН, в целом, описывается степенным законом (рисунок 1).

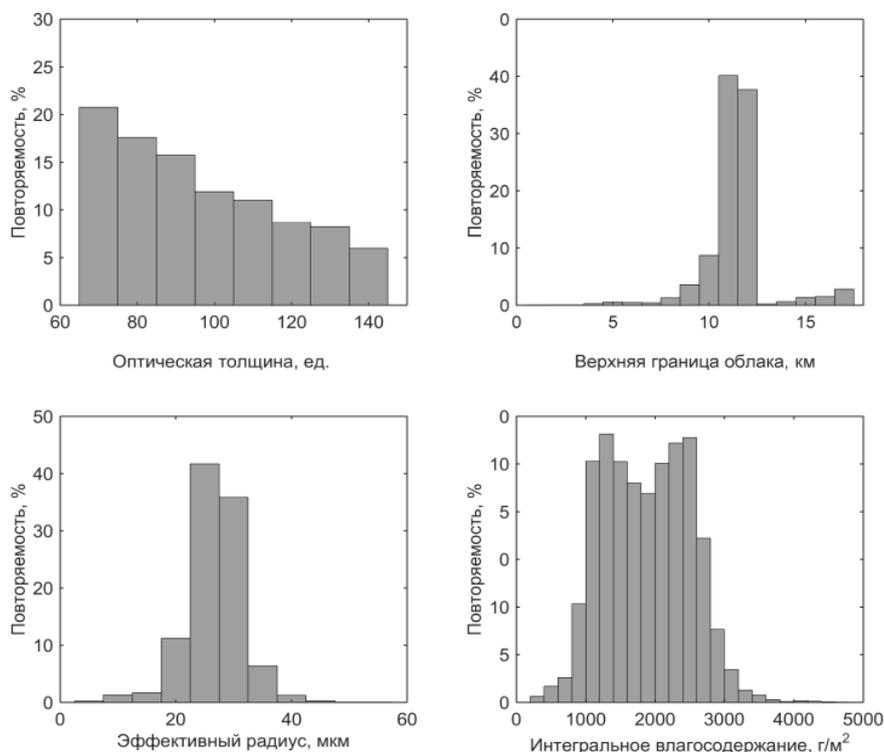


Рисунок 1. Распределения характеристик МКК над юго-востоком Западной Сибири.

Медианное значение СWP в МКК составило ~ 1900 г/м², а его общий диапазон изменения – 200–4400 г/м². При этом распределение СWP является бимодальным. Первая его мода приходится на значения 1200–1400 г/м², а вторая – на 2400–2600 г/м². Значения CER изменялись от 2,5 до 47,5 мкм, а его медианная величина равнялась 26,8 мкм. Распределение CER близко нормальному (гауссову).

1. Алексеев Г.В., Анисимов О.А., Ашик И.М. и др. Второй оценочный доклад Росгидромета об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. Москва. Изд-во «Росгидромет», 2014. – 1008 с.

2. Вельтищев Н.Ф. Мезометеорология и краткосрочное прогнозирование. – Л.: Гидрометеиздат, 1988. – 136 с.

3. EOSDIS Worldview [Электронный ресурс]. – URL: <https://worldview.earthdata.nasa.gov/> (дата обращения: 10.11.2018).

4. Гидрометцентр России. Синоптические карты [Электронный ресурс]. – URL: <https://meteoinfo.ru/mapsynop> (дата обращения: 13.12.2018).

5. LAADS DAAC [Электронный ресурс]. – URL: <https://ladsweb.modaps.eosdis.nasa.gov/archive/allData/> (Дата обращения 15.03.2019).

МОДИФИКАЦИИ АТМОСФЕРНО-ПОЧВЕННОГО ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО КОМПЛЕКСА «АПИК»

Кураков С.А.

Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН (г. Томск)
ksa@imces.ru

Современные климатические изменения привлекают все большее внимание исследователей. Существующая метеорологическая сеть не позволяет получить достаточный объем данных для оценки особенностей гидроклиматического режима природных объектов. Необходимо внедрять новое оборудование, позволяющее упростить процесс получения таких данных в местах, где отсутствуют метеостанции и гидропосты.

Атмосферно-почвенный измерительный комплекс «АПИК» предназначен для мобильных и стационарных долговременных автоматических измерений параметров атмосферы, почвы и водных объектов. Более 300 АПИК различных модификаций работают, преимущественно, на труднодоступных территориях России, как в виде отдельных логгеров, так и в составе сетей оперативного мониторинга [1]. По совокупности характеристик (низкое энергопотребление, широкий набор интерфейсов подключения датчиков, перестраиваемые режимы автоматической работы, работоспособность в широком диапазоне условий эксплуатации, простота в установке и обслуживании, финансовая доступность) АПИК превосходит аналоги, предназначенные для автономной работы в труднодоступных местах.

На рисунке 1 показаны станции мониторинга с передачей данных по сотовой связи автономно работающие в труднодоступных местах: измеритель высоты снежного покрова в Актру (рисунок 1а) и измеритель жидких осадков (рисунок 1б).

Первая станция установлена в 2015 году, а вторая в 2019. Более поздняя модификация проще и дешевле в 2,5 раза. Два измерителя (рисунок 1б), установленные в горах показали интересную разницу осадков по сравнению с соседней долиной.



Рисунок 1. Автономные станции мониторинга: измеритель высоты снежного покрова (а); измеритель жидких осадков (б).

При наличии внешнего питания, в измерителе осадков можно топить снег и мерить сумму твёрдых и жидких осадков. На рисунке 2 показаны станции питания (24 Вольта) на которые подаётся от блоков питания 220 Вольт, установленных в помещениях на расстоянии 50...100 метров. Для отпугивания грызунов стали устанавливать отпугиватели собственной конструкции.



Рисунок 2. Автоматические станции мониторинга: Муромский район (а);
Предуральская степь Оренбургский заповедник (б).

С помощью модификаций (рисунок 3), установленных на беспилотных летательных аппаратах, микрокоптерного типа, предложены способы измерения профилей метеовеличин приземного слоя атмосферы, включая, усредненные значения скорости и направления ветра [2]. Для безопасности авиации предлагается на горизонтальных маршрутах обнаруживать нисходящие и восходящие потоки, опасные для воздушного транспорта, а на вертикальных трассах – опасные для запуска космических аппаратов ветровые явления. Испытания позволяют рассматривать БИМ как эффективное средство для оперативной верификации и дополнения дистанционных методов зондирования атмосферы. В ходе полётов были обнаружены струйные течения воздуха, характеризующиеся локальным понижением атмосферного давления и аномальной влажностью воздуха.



Рисунок 3. Беспилотный измеритель метеорологических характеристик (БИМ).

Работа выполнена в рамках финансирования задания Минобрнауки РФ № 5.3279.2017/4.6 и по проекту фундаментальных исследований СО РАН № IX.138.2.5.

1. Кураков, С. А. Мобильный измерительный комплекс для сопряженного контроля атмосферных и почвенных метеопараметров / А. В. Базаров, Н. Б. Бадмаев, С. А. Кураков, Б.-М. Н. Гончиков // Метеорология и гидрология. – № 4. – 2018. – С. 104-109.
2. Кураков С. А., Зуев В. В. Беспилотный измеритель вертикальных профилей метеопараметров в пограничном слое атмосферы. // Оптика атмосферы и океана. 29, № 11 (2016). – с. 99.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СПУТНИКОВЫХ ДАННЫХ В АНАЛИЗЕ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ДЫМОВЫХ ШЛЕЙФОВ ТЭЦ

Леженин А.А.¹, Ратуша В.Ф.¹, Ярославцева Т.В.²

¹ Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН
(г. Новосибирск)

² Новосибирский НИИ гигиены Роспотребнадзора (г. Новосибирск)
lezhenin@ommfao.ssc.ru, tani-ta@list.ru

Дымовые шлейфы, поступающие от высотных труб ТЭЦ, трассируют процессы распространения и диффузии примесей в пограничном слое атмосферы. Снимки из космоса позволяют проследить их траектории в нижней атмосфере. На снимках отчетливо наблюдается активная и пассивная фаза переноса дымового факела. При этом направления сноса дымовых шлейфов соответствуют направлениям ветра на высотах выбросов.

Целью исследования является построение моделей оценивания компонентов скорости ветра и параметров источников примесей по метеорологической, аэрологической и спутниковой информации.

Известно, что эффективная высота источника выброса определяется соотношением

$$h_{\text{эф}} = h_{\text{тр}} + \Delta h, \quad (1)$$

где $h_{\text{тр}}$ – фактическая высота трубы, Δh – дополнительная высота подъема шлейфа за счет скорости выхода примеси и теплового потока плавучести.

При температурной стратификации атмосферы, близкой к безразличной, дополнительная высота подъема определяется по формулам [1]

$$\Delta h = a \frac{w_0}{U} D_0 + b \frac{\Phi}{U^3}, \quad \Phi = g w_0 \frac{D_0^2 \Delta T}{4 T_a}, \quad (2)$$

где w_0 – скорость выброса примеси в атмосферу, D_0 – внутренний диаметр трубы, U – скорость ветра на высоте флюгера, Φ – поток плавучести, g – ускорение силы тяжести, ΔT – превышение температуры исходящих газов над температурой атмосферы T_a , $a = 1,9$, $b = 4,95$.

Зимние спутниковые снимки дымовых шлейфов от высотных труб ТЭЦ городов Новосибирска и Барнаула послужили материалами для исследований. Эффективные высоты выбросов примеси определялись по значению угла высоты Солнца и измеренными проекциям дымовых шлейфов от труб на поверхность земли.

Для г. Новосибирска на время снимка (13 февраля 2018 г., 12 часов местного времени) угол высоты Солнца над горизонтом составлял $19^\circ 03'$. Измеренное расстояние до верхней кромки тени от оси шлейфа ТЭЦ-3 было равно 1000 м, для ТЭЦ-5 – 1500 м. Эффективные высоты подъема дымовых струй, рассчитанные по этим значениям, составили 344 м для ТЭЦ-3 и 516 м для ТЭЦ-5. В табл. 1 представлены дополнительные высоты подъема дымовых шлейфов, рассчитанные по формулам (1), (2), при скорости ветра на уровне флюгера равной 3 м/с и $w_0 = 6$ м/с.

Таблица 1. Оценки дополнительных высот подъема дымовых шлейфов ТЭЦ-3 и ТЭЦ-5 г. Новосибирска (13 февраля 2018 г., 12 часов местного времени)

ТЭЦ-3			ТЭЦ-5		
ΔT , °C	Φ , м ⁴ /с ³	Δh , м	ΔT , °C	Φ , м ⁴ /с ³	Δh , м
150	571	136	150	848	194
200	760	171	200	1130	245

Учитывая, что высоты основных труб ТЭЦ-3 и ТЭЦ-5 равны 120 м и 260 м, $h_{эф}$ по формулам (1) - (2) для ТЭЦ-3 составила 291 м, а для ТЭЦ-5 – 505 м. Оценки эффективных высот подъема дымовых шлейфов ТЭЦ-3, ТЭЦ-5, полученные по спутниковым данным и по соотношениям (1), (2) вполне сопоставимы.

Для оценивания профиля скорости ветра применяются уравнения Экмана [2]

$$\frac{\partial}{\partial z} k(z) \frac{\partial U}{\partial z} + 2\omega_z (V - v_g) = 0, \quad \frac{\partial}{\partial z} k(z) \frac{\partial V}{\partial z} - 2\omega_z (U - u_g) = 0 \quad (3)$$

Здесь $U(z)$, $V(z)$ – компоненты вектора скорости ветра в направлении осей x, y , ось z направлена вертикально вверх, u_g, v_g – составляющие скорости геострофического ветра, ω_z – угловая скорость вращения Земли, k – коэффициент вертикального турбулентного обмена.

Зимний спутниковый снимок территории г. Барнаула, взятый с сайта Сибирского центра ФГБУ «Научно-исследовательский центр космической гидрометеорологии «ПЛАНЕТА» (<http://www.rcrod.ru>) (рис. 1а), использовался для расчета профиля ветра.

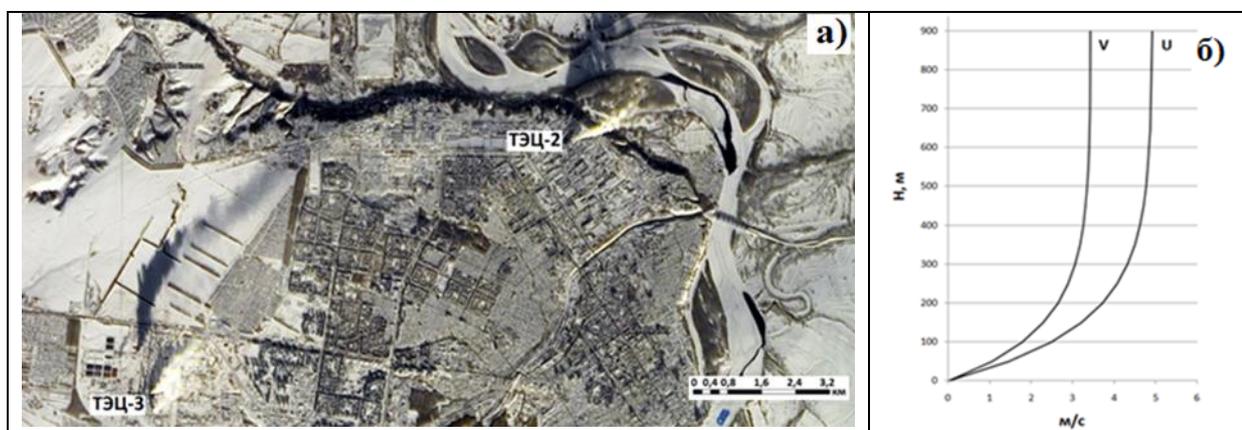


Рисунок 1. Спутниковый снимок г. Барнаула за 2 декабря 2018 года на 11 часов местного времени с ИСЗ «Ресурс-П» № 1 (а). Рассчитанные компоненты скорости ветра $U(z)$, $V(z)$ (б).

На снимке хорошо фиксируются направления сноса дымовых факелов от труб ТЭЦ-2 и ТЭЦ-3 г. Барнаула. Угол между траекториями дымовых шлейфов от труб ТЭЦ-2 и ТЭЦ-3 составляет около 20 градусов. Высота труб изменяется от 100 и 230 м. С использованием решений уравнений (3), информации о величине угла между шлейфами рассчитаны профили составляющих скорости ветра, приведенные на рис. 1б.

Предложенная модель оценивания вертикальных составляющих скорости ветра базируется на аэрологических данных и космических снимках дымовых выбросов ТЭЦ. При отсутствии информации о динамических и тепловых параметрах источников примеси показана возможность определения высоты выбросов на основе спутниковых наблюдений.

Работа выполнена в рамках Госзадания (0315-2019-0004), РФФИ и Правительства Новосибирской области в рамках научного проекта № 19-47-540008.

1. Бызова Н.Л., Гаргер Е.К., Иванов В.Н. Экспериментальные исследования атмосферной диффузии и расчеты рассеяния примеси. Л.: Гидрометеоиздат, 1991. 278 с.

2. Рапуга В.Ф., Леженин А.А., Ярославцева Т.В. Оценка параметров выбросов Новосибирских ТЭЦ с использованием спутниковой информации // Интерэкспо Гео-Сибирь. 2018. Т. 1. № 4. С. 137-146.

РАЗРАБОТКА НЕЙРОННОЙ СЕТИ ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ВРЕМЕННЫХ РЯДОВ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ

Лемешонок К.А., Ботыгин И.А.

Томский политехнический университет (г. Томск)

lemeshonok12@gmail.com

На сегодняшний день методы машинного обучения получили довольно большую известность и применяются практически во всех сферах деятельности. Круг задач, решаемых с помощью искусственных нейронных сетей довольно широкий. Сюда можно отнести классификацию и распознавание некоторых образов, кластеризацию, оптимизацию, а также предсказания и прогнозирование [1-3].

Для решения задач прогнозирования наиболее распространенной моделью нейронных сетей являются рекуррентные нейронные сети и различные их модификации, так как данный тип сетей способен сохранять свое состояние на протяжении цикла работы и анализировать данные полагаясь на предыдущие измерения, что позволяет получать более точные результаты по сравнению с сетями другого типа.

В рамках данного исследования для анализа был выбран один из подвидов рекуррентных нейронных сетей – рекуррентная нейронная сеть с долгой краткосрочной памятью. Данная архитектура сети очень хорошо приспособлена к задачам классификации, обработки и прогнозирования временных рядов. В качестве области исследования была выбрана метеорология, так как прогнозирование в данной сфере является наиболее актуальным на текущий момент.

В качестве источника данных для обучения и валидации нейронной сети является портал Томского Института мониторинга климатических и экологических систем СО РАН. Для выгрузки итоговых данных был использован API-сервис данного портала.

Проектирование и реализация модели нейронной сети включает в себя четыре основных этапа: алгоритм обработки входных данных, преобразование данных в необходимую для сети форму, проектирование архитектуры сети, построение взаимодействия между скрытыми слоями и подбор наиболее оптимальных параметров. Структурная схема базовой модели нейронной сети изображена на рисунке 1.

На основе данной модели путем манипулирования количеством нейронов в скрытых слоях и количеством самих слоев были получены оценки точности прогнозирования при различных конфигурациях модели. В качестве метрики для оценки точности прогнозирования использовалось среднеквадратичное отклонение.

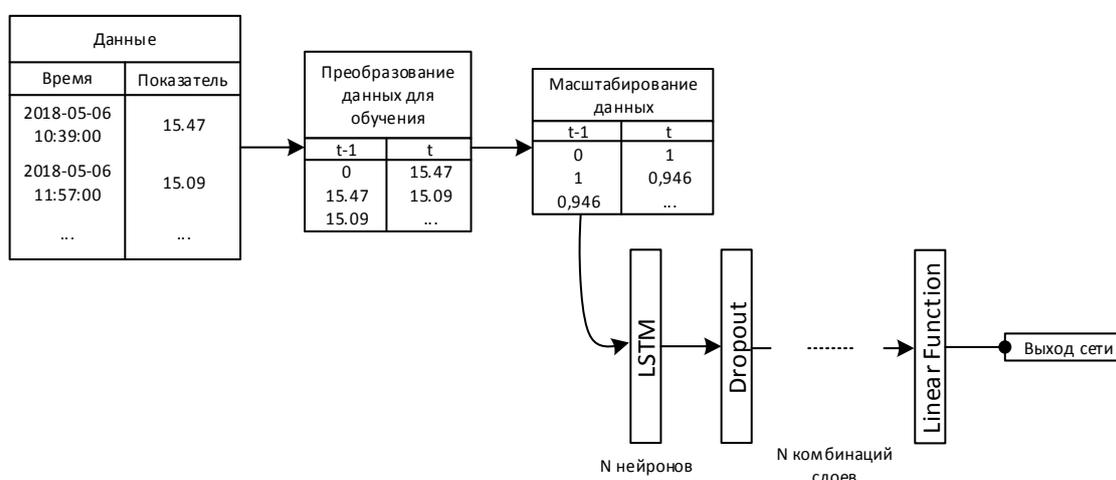


Рисунок 1. Базовая модель нейронной сети

Для вычисления среднеквадратичного отклонения использовалась следующая математическая формула:

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)^2},$$

где n – количество полученных предсказаний; Y_i – истинное значение; \hat{Y}_i – предсказанное значение.

В качестве экспериментальной выборки был использован временной ряд измерений температуры окружающей среды объемом в 600 измерений с интервалом между измерениями равным 45 минутам.

Имея размах временного ряда, равный 39.41°C была достигнута точность прогнозирования равная 3.74, что не является минимальной точностью. Показатель точности может быть улучшен путем некой предварительной обработки данных и модификацией модели сети. График предсказания в сравнении с оригинальным рядом представлен на рисунке 2.

Однако можно заметить, что нейронная сеть плохо справляется с прогнозированием на участках с наличием больших пиков. Если же брать в рассмотрение более равномерные участки измерений, то качество предсказания находится на очень высоком уровне.

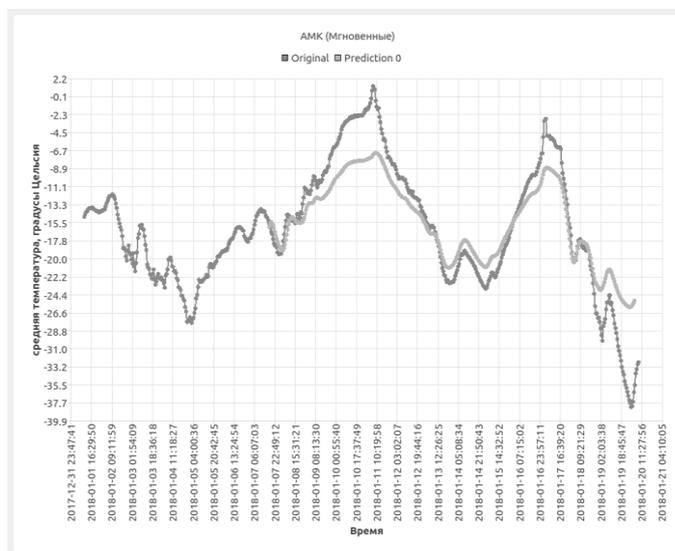


Рисунок 2. Графическое представление прогнозирования временного ряда

Таким образом, в процессе данного исследования была спроектирована базовая модель нейронной сети для прогнозирования временных рядов и произведено исследование ее возможностей в данной задаче. На основе полученных результатов можно сказать о том, что данное направление очень перспективно для анализа данных, так как дает наиболее точные результаты по сравнению с традиционными подходами к прогнозированию, такими как регрессионный анализ.

1. Kumar D. N., Raju K. S., Sathish T. River flow forecasting using recurrent neural networks // Water resources management. – 2004. – Т. 18. – №. 2. – С. 143-161.
2. Azzouni A., Pujolle G. A long short-term memory recurrent neural network framework for network traffic matrix prediction // arXiv preprint arXiv:1705.05690. – 2017.
3. Singhal D., Swarup K. S. Electricity price forecasting using artificial neural networks // International Journal of Electrical Power & Energy Systems. – 2011. – Т. 33. – №. 3. – С. 550-555.

ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДЛЯ РАСЧЁТА ЭФФЕКТИВНОЙ ТЕМПЕРАТУРОПРОВОДНОСТИ СНЕГА ПО ДАННЫМ АВТОМАТИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ ПРОФИЛЯ ТЕМПЕРАТУРЫ

Макеев Е.А., Дюкарев Е.А., Кураков С.А.

Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН (г. Томск)
forword@sibmail.com

Теплозащитные свойства снежного покрова определяются его термическим сопротивлением $R_s = h_s/\lambda_s$, где h_s – толщина снежного покрова, λ_s – коэффициент эффективной теплопроводности снега [5]. Последний используется при расчёте глубины промерзания почв и грунтов и оценке тепловых потоков в системе атмосфера – снежный покров – подстилающие породы при моделировании климатических изменений.

Для создания сети станций мониторинга природно-климатических изменений в институте мониторинга климатических и экологических систем (ИМКЭС СО РАН г. Томск), был разработан атмосферно-почвенный измерительный комплекс (АПИК) [1, 2, 3].

Измерение профиля температуры снега для АПИК был разработан специальный датчик высоты снежного покрова [4]. Определение высоты снежного покрова на основе данных датчика, заключается в поиске границы раздела снег-воздух по температурному градиенту.

Температуропроводность (коэффициент температуропроводности) — физическая величина, характеризующая скорость изменения (выравнивания) температуры вещества в неравновесных тепловых процессах. Численно равна отношению теплопроводности к объёмной теплоёмкости при постоянном давлении, в системе СИ измеряется в $\text{м}^2/\text{с}$. В основу измерения температуропроводности твердых тел положен метод Паркера. В классической работе У. Паркера и др., опубликованной в 1961 г. [6], предложен импульсный способ определения тепловых физических характеристик.

Метод расчёта коэффициента эффективной температуропроводности снега для АПИК основан на численном решении уравнения теплопереноса в снежном покрове. Уравнение теплопроводности, при предположении постоянства коэффициента эффективной температуропроводности имеет вид.

$$\partial T / \partial t = \alpha \cdot \partial^2 T / \partial z^2, \quad (1)$$

где T – температура снега, $^{\circ}\text{C}$; t – время, с ; z – координата по глубине снежной толщ, м ; α – коэффициент эффективной температуропроводности, $\text{м}^2/\text{с}$.

Начальными условиями будут значения профиля температуры от поверхности почвы до верхней границы снежного покрова. Предполагаемое значение высоты снежного покрова определяется по градиентному алгоритму.

Граничными условиями для решения уравнения (1) будут значения температуры датчиков на нижней и верхней границах снежного покрова для всего периода расчёта.

Для решения уравнения (1) начальным значением коэффициента температуропроводности на основе анализа литературы выбрано значение $1 \times 10^{-7} \text{ м}^2/\text{с}$, а граничным $20 \times 10^{-7} \text{ м}^2/\text{с}$. Расчёт производится с выбранными шагами для коэффициента температуропроводности в два этапа.

Результатом решения уравнения (1) будут смоделированные значения профиля температуры за выбранный период времени расчёта. Сравнение данных измерения и результатов расчёта позволяет выбрать значение коэффициента, при котором среднеквадратичное отклонение будет минимальным между данными моделирования и измерения.

Программное обеспечение для АПИК включает модули расчёта высоты снежного покрова по температурному градиенту по трём алгоритмам и расчёт эффективной температуропроводности с корректировкой расчёта глубины снега, на основе анализа значения среднеквадратичного отклонения.

Для моделирования профиля температуры снега требуется установить следующие параметры: период моделирования, максимальный и минимальные шаги для коэффициента температуропроводности, использование корректировки глубины снега и возможность установить высоту снега вручную. Результаты расчёта с периодом моделирования 24 часа, шагами 1×10^{-7} и $0,05 \times 10^{-7}$ м²/с, с корректировкой по глубине без предварительной инициализации глубины снега представлены на рисунке 1.

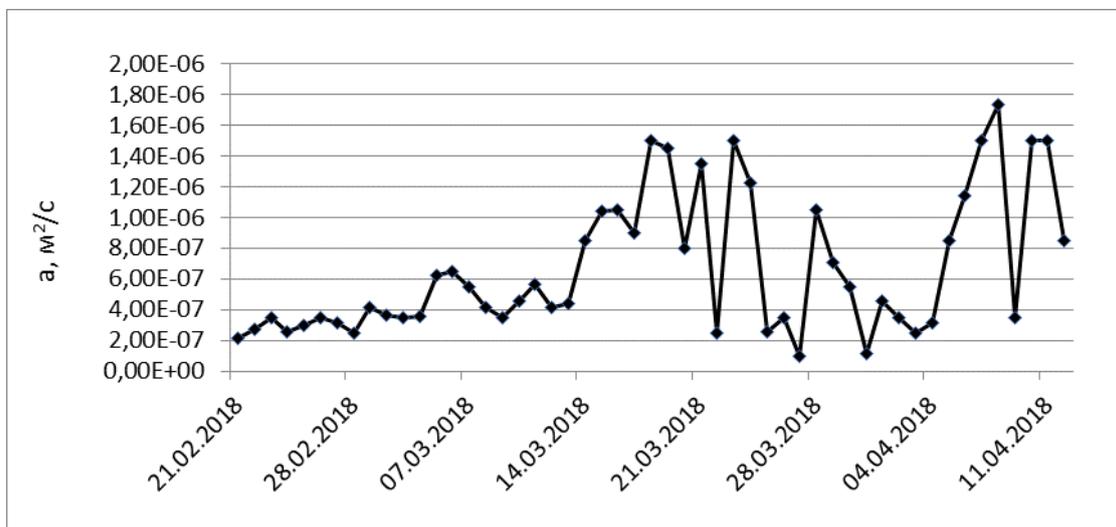


Рисунок 1. Результаты расчёта коэффициента эффективной температуропроводности снега.

1. С. А. Кураков, В.А. Крутиков, В.Г. Ушаков Автономный измеритель профиля температуры АИПТ. // Приборы и техника эксперимента, М., 2008, № 5, с. 166-167.
2. С.А. Кураков Система автономного мониторинга состояния окружающей среды. // Датчики и системы. 2012, № 4 (155), с. 29-32.
3. А. В. Базаров, Н. Б. Бадмаев, С. А. Кураков, Б.-М. Н. Гончиков, Ю. Б. Цыбенков, А. И. Куликов Измерительный комплекс для автоматического долговременного контроля атмосферных и почвенных климатических параметров // Приборы и техника эксперимента. - Москва, 2016. - № 4. - с. 158-159.
4. Пат. 2542598 Российская Федерация, МПК G01W 1/14. Датчик высоты снежного покрова // Кураков С.А.; заявитель и патентообладатель ИМКЭС СО РАН. - № 2013136310/28; заявл. 01.08.2013; опубл. 20.02.2015, Бюл. № 5. – 4 с.
5. Н.И. Осокин, А.В. Сосновский, Р.А. Чернов Влияние стратиграфии снежного покрова на его термическое сопротивление // Лёд и снег, 2013; 53(3), с. 63-70.
6. W. J. Arker, R. J. Jenkins, C. P. Butler, G. L. Abbot 1961 Flash method of determining thermal diffusivity, heat capacity and thermal conductivity // J. Appl. Physic. 32(9). 1679–1684.

МОНИТОРИНГ УСЛОВИЙ ОБЛЕДЕНЕНИЯ ВОЗДУШНЫХ СУДОВ В РАЙОНЕ АЭРОДРОМА Г. ТОМСКА

Мордус Д.П., Зуев В.В., Павлинский А.В.

Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН (г. Томск)

Dariymordus@gmail.com

К одному из сложных метеорологических явлений относят обледенение, от которого в значительной мере зависит регулярность и безопасность полетов воздушных судов (ВС). Необходимыми условиями обледенения ВС в полете являются наличие достаточного количества влаги в воздухе (облака, осадки), отрицательные температуры воздуха и поверхности ВС [1]. В данной работе рассмотрены все случаи обледенения ВС в пределах нижнего километрового слоя атмосферы в период с сентября 2012 г. по июль 2013 г. по сообщениям пилотов. В этот же период проводились дистанционные измерения профилей температуры воздуха с помощью профилемера МТР-5, а также определялись профили относительной влажности с использованием данных об относительной влажности на высоте 2 м и высоте нижней границы облаков (ВНГО) [2] на момент начала обледенения. Моментом начала обледенения считалось время получения соответствующего сообщения от экипажа с учетом диапазона высот, где было зафиксировано данное явление. В авиационных прогностических подразделениях принято, что анализ и прогноз обледенения ВС в районе аэродрома составляется в период с октября по апрель, в летний период года обледенение возможно только на высотах, как правило, выше 1 км [3], а также в кучево-дождевой облачности. Поэтому в анализе не учитывался период с мая по сентябрь.

Температура воздуха на момент начала обледенения ВС в период с октября 2012 г. по апрель 2013 г. в высотном слое от земли до 1 км изменялась в пределах от $0,5^{\circ}\text{C}$ до минус $20,1^{\circ}\text{C}$. Наиболее характерный (82,6% от общего числа случаев) диапазон температур воздуха на момент начала обледенения (рис. 1) составляет $-2 \div -10^{\circ}\text{C}$.

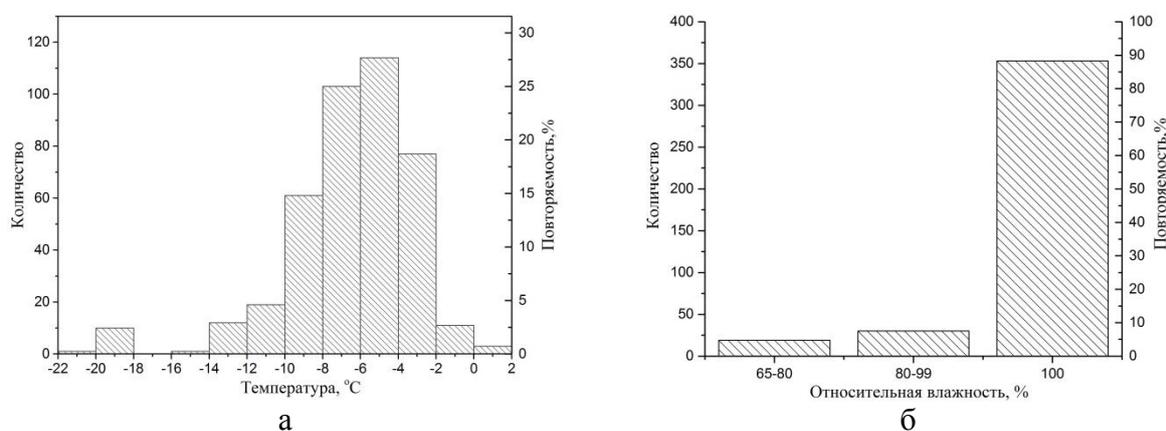


Рисунок 1. Распределение температур (а) и значений относительной влажности (б) на момент начала обледенения на высотах от 0 до 1 км.

С понижением температуры воздуха ниже -10°C вероятность возникновения обледенения ВС уменьшается. Для исследуемого периода по аэродрому г. Томска при температурах от -10 до -22°C обледенение фиксировалось только в 10,4% случаях. Минимальные температуры, при которых так же фиксировалось обледенение ВС в нижнем километровом слое, находятся в пределе от -18 до -20°C (рис. 1а). Обледенение при таких температурах возникает при замерзании мелких капель, в районе аэродрома г. Томска оно наблюдалось в кучево-дождевой (*Cb*) и в слоисто-кучевой (*Sc*) облачности. Из рис. 1а видно, что обледенение фиксировалось в 3 случаях при положительных температурах, что составляет 0,7%. Данный процесс с физической точки зрения возможен только в случаях «топливного обледенения» [4]

или «карбюраторного обледенения» [5]. При объяснении наличия обледенения ВС на высотах от земли до 1000 м при положительных температурах следует учитывать, что информация об обледенении является необъективной (неточной). Она основывается на показаниях датчиков обледенения, установленных на ВС, или на визуальных наблюдениях экипажа, где фиксируется момент начала обледенения и момент освобождения ВС от льда. Таким образом, данные бортовой погоды представляют собой показания о начале обледенения и его сохранении на этапах посадки или взлета. Фиксируемое обледенение ВС при положительных температурах может быть следствием начавшегося обледенения в холодной воздушной массе (отрицательные температуры) и его сохранении уже при положительных температурах.

Распределение значений относительной влажности (RH) на момент начала обледенения за рассмотренный период в высотном слое от земли до 1000 м представлено на рис. 1б. Зависимость от относительной влажности представляется более сильной, а именно, при $RH = 100\%$ зафиксировано 88,1% всех случаев обледенения. С понижением значений относительной влажности количество случаев обледенения уменьшается. Из рис. 1б видно, что обледенение ВС, как правило, начинается в облаках, т.к. обычно считается, что в облаке относительная влажность равна 100% [6]. Из [7] обледенение наиболее вероятно при относительной влажности более 63%, для аэродрома г. Томска, момент начала обледенения фиксировался при относительной влажности 65% и более.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-05-80051.

1. Баранов А.М., Солонин С.В. Авиационная метеорология. Л.: Гидрометиздат, 1981. – 383 с.
2. Дистанционный способ определения пространственных зон вероятного обледенения воздушных судов в режиме реального времени: Пат. 2580375. Россия, МПК, G01W 1/10, B64D 15/20. Зуев В.В., Нахтигалова Д.П., Шелехов А.П., Шелехова Е.А.; ИМКЭС СО РАН. № 2014154535/28; Заявл.30.12.14; Оpubл. 10.04.16. Бюл. № 10.
3. Зуев В.В., Нахтигалова Д.П., Шелехов А.П., Кижнер Л.И., Павлинский А.В., Шелехова Е.А., Баранов Н.А. Особенности обледенения воздушных судов в районе Международного аэропорта города Томска // Оптика атмосф. и океана. – 2016. – Т. 29, № 12. – С. 1080–1085.
4. Руководство по противообледенительной защите воздушных судов на земле. Международная организация гражданской авиации. М.: ИКАО, 2000. – 38 с.
5. MacDonald S.A.F., Peppler I.L. From the Ground Up. Washington, USA: Aviation Supplies & Academics, 2003. – 352 p.
6. Хргиан А.Х. Физика облаков. Л.: Гидрометеиздат, 1961. – 458 с.
7. Шакина Н.П., Скриптунова Е.Н., Иванова А.Р., Горлач И.А. Оценка механизмов генерации вертикальных движений в глобальных моделях и их начальных полях в связи с численным прогнозом осадков // Метеорология и гидрол. 2009. № 7. С. 14–32.

МОДЕЛИ И МЕТОДЫ ЧИСЛЕННОГО АНАЛИЗА ПРОЦЕССОВ ЗАГРЯЗНЕНИЯ РЕЧНОЙ ВОДЫ

Рапута В.Ф.¹, Зиновьев А.Т.², Ловицкая О.В.²

¹ Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН
(г. Новосибирск)

² Институт водных и экологических проблем СО РАН (г. Барнаул)
raputa@sscc.ru, zinoviev@iwer.ru

При анализе результатов экспериментальных исследований загрязнения реки химически активными примесями методами постановок прямых и обратных задач могут возникнуть значительные затруднения, связанные с неадекватностью используемых математических моделей. Эти трудности, как правило, усугубляются дискретным характером данных измерений и непрерывным описанием процессов переноса и трансформации примесей [1, 2].

Для численного анализа процессов загрязнения речной воды в результате стока примесей с урбанизированных территорий необходимо привлечение данных натуральных наблюдений (гидрологических, гидрохимических и биогеохимических) по пилотным участкам рек и их водосборным территориям. Получение этой экспериментальной информации предполагает проведение большого объема работ, включающих в себя совмещенных по времени отборы гидрохимических проб и определения по створам основных параметров речного потока (расхода воды и отметок уровня). На этапе химико-аналитических исследований определяется многокомпонентный состав приоритетных загрязняющих веществ (ХПК, Na^+ , HCO_3^- , Cl^- , NH_4^+ , PO_4^{3-} , NO_2^- , Cr, Mn, Co, As, нефтепродукты, формальдегид, летучие фенолы и др.) [2]. По их составу возможно получить предварительные сведения об источниках и величине диффузного загрязнения природных водотоков в городской черте.

При построении математических моделей и методов контроля качества воды в качестве базового соотношения обычно используется уравнение баланса примесей в реке. В него входят слагаемые, описывающие перенос и диффузию примесей, изменение их концентраций за счет биохимических реакций, взаимодействие со взвешенными наносами, поступление сточных вод. Следующим этапом исследований является численный анализ экспериментальных результатов с последующей оценкой диффузного стока с урбанизированных территорий путем решения обратных задач моделирования качества воды [3].

Цель работы состоит в численном анализе данных наблюдений гидрохимических характеристик на створах малой реки г. Барнаула.

Рассматривается одномерная стационарная модель распространения химически активной примеси в реке. Пусть концентрация вещества, поступающего в реку со стоком, изменяется в результате действия следующих факторов: рассеивания, адвекции и трансформации. Процесс распространения опишем следующим дифференциальным уравнением второго порядка [1]

$$\frac{d}{dx} \left(Qc - EA \frac{dc}{dx} \right) + \lambda Ac - f(x) = 0, \quad (1)$$

где x – продольная координата вдоль русла реки; E – коэффициент продольной дисперсии; λ – коэффициент химической трансформации; Q – расход воды; A – площадь поперечного сечения потока; $f(x)$ – функция источника, характеризующая поступление примеси в реку.

Со следующими дополнительными условиями

$$c|_{x=x_0} = 0, \quad c|_{x \rightarrow \infty} \rightarrow 0. \quad (2)$$

После ряда преобразований и упрощений аналитическое решение задачи (1, 2) приобретает следующий вид [3]

$$c(x, \vec{\theta}) = \frac{\theta_1}{A(x)} e^{\theta_2 x}, \quad (3)$$

где θ_1, θ_2 – неизвестные параметры, оцениваемые по данным измерений концентраций на створах реки.

С использованием данных наблюдений [2, 4] на рис. 1 представлены результаты численного восстановления концентраций примесей в нижнем течении р. Барнаулки.

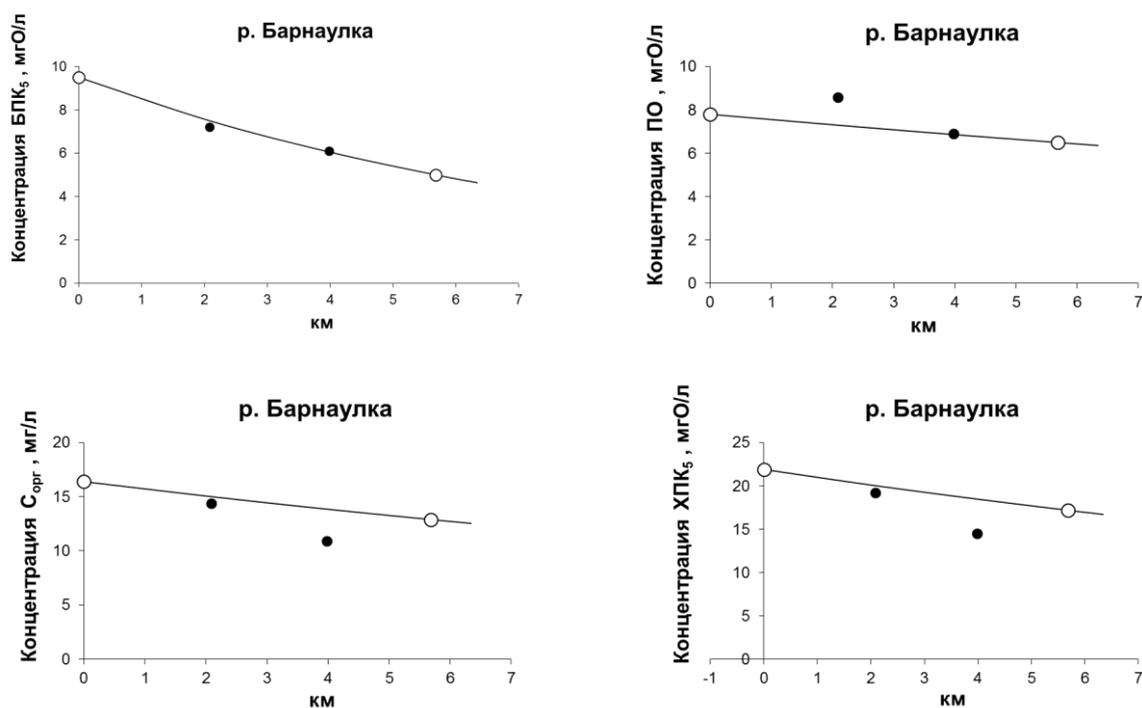


Рисунок 1. Численное восстановление BPK_5 , XPK_5 , $C_{орг}$, PO по измерениям на створах в нижнем течении р. Барнаулки. — восстановленная по зависимости (3) концентрация, \circ , \bullet — данные наблюдений в опорных и контрольных створах.

Модель оценивания (3) подтвердила вполне адекватное соответствие с данными измерений BPK_5 . По остальным компонентам в одной из контрольных точек измерений возникли некоторые расхождения с результатами моделирования.

Работа выполнена в рамках Госзадания (№№ 0315-2019-0004, 0383-2019-0003), при поддержке программы президиума РАН № 51 (№ 0315-2019-0016), РФФИ и Правительства Новосибирской области в рамках научного проекта № 19-47-540008.

1. Джеймс, А. Математические методы контроля загрязнения воды. М.: Мир, 1981, 471 с.
2. Река Барнаулка: экология, флора и фауна бассейна. / Под ред. М.М. Силантьевой. АлтГУ. Барнаул. 2000. 224 с.
3. Закономерности распределения и миграции радионуклидов в долине р. Енисей. / Под ред. В.Ф. Шабанова, А.Г. Дегерменджи. Новосибирск: Изд-во СО РАН, Филиал «Гео», 2004. 286 с.
4. Темерев С.В., Галахов В.П., Плотникова Ю.Е. Формирование и распределением химического стока реки Барнаулки. // Известия АлтГУ. 2001. №3(21). С. 32–37.

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ ОБРАБОТКИ И АНАЛИЗА МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ДАННЫХ

Седун Д.А., Ботыгин И.А.

Томский политехнический университет (г. Томск)

tsksedoy@gmail.com

В настоящем сообщении представлено программное обеспечение для обработки и анализа первичной метеорологической информации. Очень часто для увеличения точности регистрируемы параметров используется фильтрация. Одним из широко используемых методов, работающих во временной области, является фильтр Калмана [1,2]. Программные эксперименты проводились с данными датчика электрического поля EFS-2/50, расположенного на станции с координатами - 54°51.462' с.ш., 83°6.696' в.д. за период с 26.07.2018 по 30.07.2018. Отметим, что измерения напряжённости электрического поля производились в приземном слое атмосферы. В частности, полученные данные могут быть использованы для оценки степени загрязнения воздуха, для оценки наличия кучево-дождевых облаков и других задач в окрестностях точки наблюдения.

Разработка программного обеспечения проводилась с использованием Anaconda - менеджера пакетов языка программирования Python и Jupiter Notebook [3,4].

Исходные данные были представлены в формате .csv и включали в себя более пяти тысяч строк данных. Ниже представлены полученные значения градиента потенциала электрического поля в сравнении с пороговыми значениями (до 2 кВ и до 50 кВ.).



Рисунок 1. Градиент потенциала электрического поля в сравнении с пороговым значением до 2 кВ.



Рисунок 2. Градиент потенциала электрического поля в сравнении с пороговым значением до 50 кВ.

Далее подключаем библиотеки `pykalman` и `numpy`, необходимые для выполнения вычислений с фильтром Калмана. Так как в исходных данных нет информации, которая бы помогла настроить дополнительные значения параметров вычислений настраиваем фильтр с значениями «по умолчанию». Формируем корректировку данных в столбце “`data1`”, строим график и выводим его на экран.

```
In [14]: from pykalman import KalmanFilter
import numpy as np
kf=KalmanFilter(em_vars='all')
pred_state,state_cov=kf.smooth(avgs['data1'])
plt.plot(pred_state)
plt.title('Фильтр Калмана для Показаний №1')
plt.show()
```

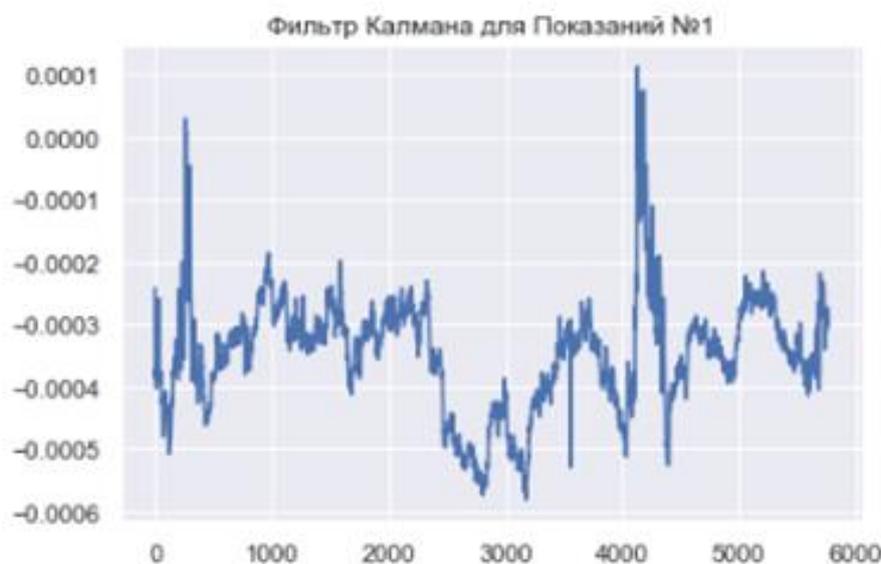


Рисунок 3. Фильтр Калмана для градиента потенциала электрического поля в сравнении с пороговым значением до 2 кВ.

В целом, разработанное программное обеспечение выполняет обработку табличных данных, формирует их в массив, удобный для обработки, строит графики на основе данных, необходимые для дальнейшего анализа, а также фильтрует и выводит уточненные данные на экран. Это позволяет вовремя выявить актуальные факторы, влияющие на климатические показатели и сделать соответствующие выводы по их минимизации, упреждению или устранению.

1. Бойцов Е.С. Одномерный фильтр Калмана для нахождения наилучшего приближения. // URL: https://www.authorea.com/users/96205/articles/114094-Одномерный-фильтр-Калмана-для-нахождения-наилучшего-приближения/_show_article (дата обращения: 31.05.2019).

2. Конушин А.С., Ветров Д.П., Кропотов Д.А., Конушин В.С., Баринаова О.В. Спецкурс: Структурные методы анализа изображений и сигналов. // URL: <http://www.machinelearning.ru/wiki/images/8/83/SMAIS2009-10.pdf> (дата обращения: 31.05.2019).

3. Anaconda // URL: <https://www.anaconda.com/> (дата обращения: 31.05.2019).

4. Python // URL: <https://www.python.org/> (дата обращения: 31.05.2019).

5. Jupyter Notebook // URL: <https://jupyter.org/> (дата обращения: 31.05.2019).

ИССЛЕДОВАНИЕ ИНСТРУМЕНТОВ ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ СЕЗОННЫХ ПРОГНОЗНЫХ МОДЕЛЕЙ

Солтаганов Н.А., Ботыгин И.А.

Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН (г. Томск)
nasoltaganov@yandex.ru

В метеорологических, экономических и финансовых временных рядах, как правило, присутствуют сезонные колебания. В их прогнозировании основная задача сводится к оценке тенденции, а второстепенная задача – к корректировке оценки с учетом сезонности. Т.е., для этого необходимо очистить временной ряд от случайной составляющей и сезонности. Сезонная составляющая мешает идентификации других составляющих, которые задают динамику и являются информативными. После чего необходимо скорректировать прогнозные значения с учётом сезонности.

Существуют различные библиотеки, способные строить прогнозы сезонных временных рядов. Например, Prophet от Facebook для построения аддитивной регрессионной модели, где годовая сезонность моделируется рядами Фурье. Одним из перспективных подходов для построения прогнозных моделей являются искусственные нейронные сети.

В настоящей работе для построения сезонных прогнозных моделей использовалась модель авторегрессии-скользящего среднего (seasonal autoregressive integrated moving average, SARIMA).

Модель SARIMA является частным случаем общей линейной модели временного ряда [1]. Согласно определению, в основе этой модели лежит понятие белого шума.

В качестве входных данных использовались временные ряды метеорологического параметра «сумма осадков», полученные с сайта ФГБУ "ВНИИГМИ-МЦД" Росгидромета [2] для метеорологической станции г. Томска со сроками наблюдения с 1966 года по 2016 год и интервалом между измерениями в 3 часа.

Для оценки точности прогноза использовались показатели ошибок прогнозирования временных рядов MAPE (mean absolute percentage error) и MAE (mean absolute error).

Модель SARIMA имеет шесть входных параметров: p , d , q , P_s , D_s , Q_s . Где p – порядок авторегрессии, d – порядок разности, q – порядок скользящего среднего. А также сезонные параметры: P_s – порядок сезонной авторегрессии, D_s – порядок сезонной разности, Q_s – сезонный параметр скользящего среднего.

Перед моделированием была проведена проверка исследуемого временного ряда на стационарность. Для проверки стационарности использовался DF-тест (базовый тест Дикки-Фуллера), который проверял наличие одного «единичного корня» [3]. Тестирование показало, что исследуемый временной ряда является нестационарным, т.к. имеет тренд и сезонность.

Вид модели определялся по коррелограмме выборочной автокорреляционной функции (АКФ) и выборочной частной автокорреляционной функции (ЧАКФ). В результате преобразований ряда стали известны параметры d , D_s , и они равны 1. В данном случае затухающий график АКФ и выбросы на первых нескольких лагах ЧАКФ свидетельствуют о том, что это модель авторегрессии. Выброс на двенадцатом лаге на обоих графиках (АКФ и ЧАКФ) показал наличие одного сезонного авторегрессионного компонента и одного сезонного компонента скользящего-среднего. Таким образом, с учетом всех предыдущих замечаний был определен вид модели – SARIMA.

Подход изучения графиков АКФ и ЧАКФ при условии наличия смешанной модели (SARIMA) может быть не всегда точен. Поэтому каждый из входных параметров для построения модели был увеличен на 1 (кроме d , D_s). Значения параметров в модуль программы были заданы в виде диапазона значений, который был использован для обучения модели. Программные эксперименты проводились с использованием пакета StatsModels языка Python [4].

На рис. 1 представлена лучшая модель прогнозирования за весь период. Синяя линия – это фактические значения, красная – это смоделированные значения. Видно, насколько хорошо модель описывает исследуемый метеорологический параметр. Видно, что максимальные значения параметра спрогнозировать не удалось.

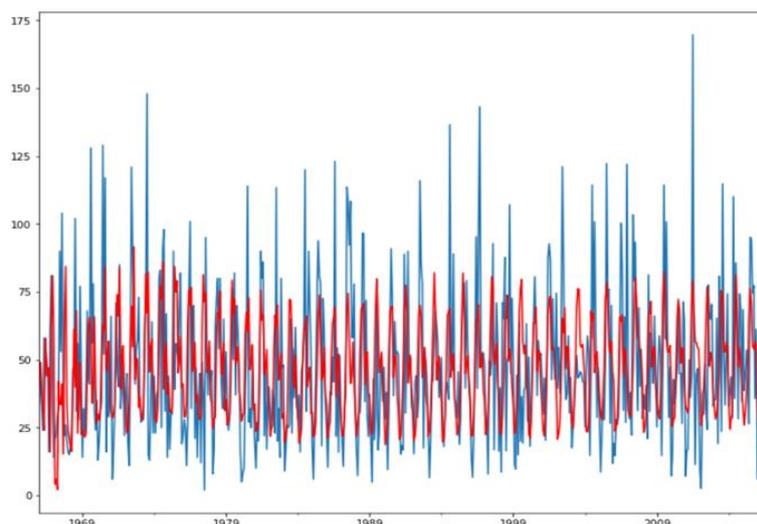


Рисунок 1. Модель SARIMA.

На рис. 2 представлен прогноз на следующие два года. Здесь, как и на предыдущем рисунке, видно, что смоделированные значения находятся в приемлемом диапазоне.

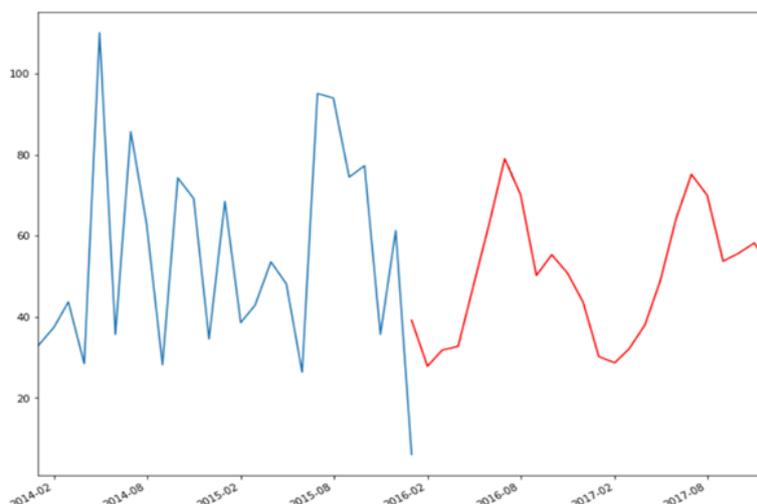


Рисунок 2. Прогнозный график на следующие два года.

В целом, пакет Statsmodels вполне пригоден для научной работы. Построенные прогнозные модели показали себя достаточно эффективными.

1. Электронное учебное пособие. Методы бизнес-прогнозирования. // Тема 4. Сезонные и параметрические модели временных рядов. URL: http://eos.ibi.spb.ru/umk/15_3/5/5_R1_T4.html (дата обращения: 28.05.2019).

2. Всероссийский научно-исследовательский институт гидрометеорологической информации – Мировой центр данных. URL: <http://meteo.ru/data> (дата обращения: 28.05.2019).

3. Бокс Дж., Дженкинс Г.М. Анализ временных рядов, прогноз и управление. М.: Мир, 1974. 406 с.

4. Statsmodels Statistics in Python // Statsmodels Documentation. URL: <https://www.statsmodels.org/stable/index.html> (дата обращения: 28.05.2019).

БИОГЕОХИМИЧЕСКАЯ ИНДИКАЦИЯ РТУТИ НА ТРАНСГРАНИЧНЫХ ТЕРРИТОРИЯХ ПАВЛОДАРСКОЙ ОБЛАСТИ И АЛТАЙСКОГО КРАЯ

Турсуналиева Е.М.¹, Ляпина Е.Е.^{1,2}, Юсупов Д.В.^{1,3}, Рихванов Л.П.¹

¹ Томский политехнический университет (г. Томск)

² Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН (г. Томск)

³ Амурский государственный университет (г. Благовещенск)

tursunalieva.em@gmail.com

Одним из наиболее опасных проявлений антропогенного воздействия, является загрязнение ртутью, что приводит к негативным последствиям и влияет как на окружающую среду, так и на здоровье населения. Источники поступления ртути в окружающую среду, могут быть как природными, так и антропогенными. Существенный вклад в загрязнение вносит трансграничный перенос [1]. Источниками трансграничного переноса поллютантов являются выбросы различных промышленных центров, работой которых формируются техногенные биогеохимические ореолы с аномальным содержанием различных загрязняющих веществ.

Примером трансграничного переноса служит обострение экологических проблем в Азиатской части России. Согласно данным Робертуса Ю.В. и др. [2], южная часть Западно-Сибирского экономического района подвержена влиянию промышленных районов Казахстана, а именно городов: Павлодар, Экибастуз и Усть-Каменогорск. Одновременно промышленный пояс юга Сибири оказывает влияние на Казахстан.

Павлодарская область является одной из наиболее промышленно развитых областей Казахстана и подвержена высокой техногенной нагрузке вследствие деятельности предприятий горнодобывающей, нефтеперерабатывающей, черной и цветной металлургии, химической и энергетической промышленности.

Цель работы – оценка фактора трансграничного переноса ртути между Павлодарской областью и Алтайским краем.

Для измерения ртутной нагрузки на территории Алтайского края и Павлодарской области использовался метод атомной абсорбции. Объектом исследования послужили 21 проба листьев тополя отобранных на территории Павлодарской области (Казахстан) и 34 пробы с территории Алтайского края (Россия).

Пробы отбирали вдоль автомобильных шоссе субширотного направления, проходящих через населенные пункты (рис. 1) и на территории городов Славгород и Яровое. Отбор проводился с отдельно стоящих деревьев на высоте 1,5-2 м от поверхности земли. Дальнейшая подготовка проб включала в себя: сушку при комнатной температуре и ручное измельчение. Анализ проводился на ртутном анализаторе «РА-915М» с приставкой «ПИРО-915+».

Среднее значение концентрации ртути на территории Павлодарской области составляет 23,7 нг/г, что не превышает региональный фон ртути в листьях урбанизированных территорий юга Сибири и Дальнего востока [3]. Максимальная концентрация (45,9 нг/г) приходится на село Павлодарское расположенное в 10 км от г.Павлодар (рис. 2а).

Среднее значение ртути на исследуемой территории Алтайского края составляет 23,2 нг/г. Ореол с аномальной концентрацией ртути приходится на города Славгород и Яровое (рис. 2б).

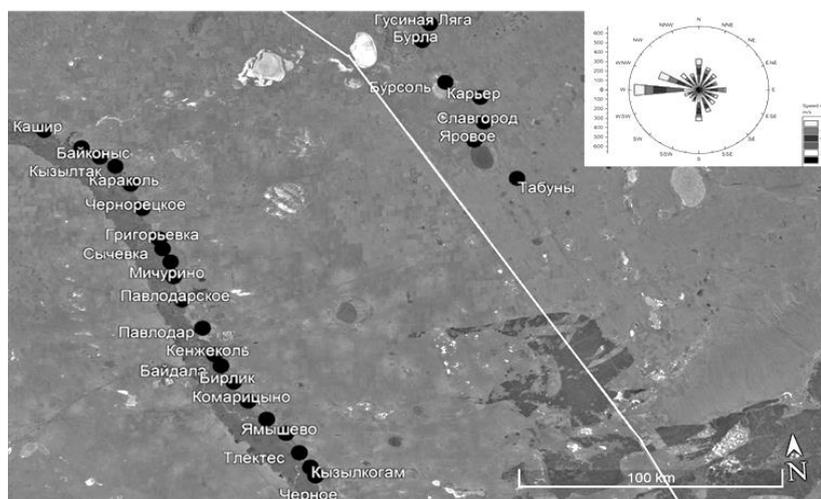


Рисунок 1. Карта фактов отбора проб листьев тополя вдоль трассы на территории Павлодарской области и Алтайского края.

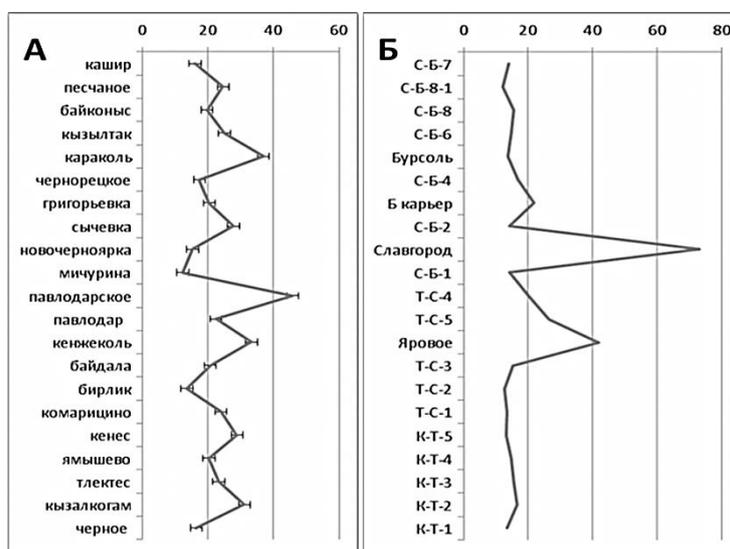


Рисунок 2. Концентрация ртути (нг/г) в листья на территориях Павлодарской области (А) и Алтайского края (Б).

Отсутствие крупных промышленных предприятий и повышенные концентрации ртути на приграничной территории Алтайского края и согласованность с господствующим направлением воздушных масс в летний период позволяют считать о наличие трансграничного переноса с территории Павлодарского края.

1. Клюев Н. Н. Экологические итоги реформирования России // Вестник Российской академии наук. 2001. Т. 71. № 3. С. 233–239.

2. Робертус Ю.В., Удачкин В.Н., Рихванов Л.П., Юсупов Д.В., Кивацкая А.В., Любимов Р.В. Индикация компонентами природной среды трансграничного переноса загрязняющих веществ на территорию Горного Алтая // Известия Томского политехнического университета. – 2016. – Т. 327. – № 9. – С. 39–48.

3. Юсупов Д.В., Рихванов Л.П., Робертус Ю.В., Ляпина Е.Е., Турсуналиева Е.М., Барановская Н.В., Осипова Н.А. Ртуть в листьях тополя на урбанизированных территориях юга Сибири и Дальнего Востока // Экология и промышленность России. – 2018. – Т. 22. – № 12. – С. 56–62.

ПРИМЕНЕНИЕ ПОЗИТРОННОЙ СПЕКТРОСКОПИИ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ СТРУКТУРЫ ПРИРОДНЫХ ПОЛИМЕРОВ НА ПРИМЕРЕ СОСНЫ СИБИРСКОЙ КЕДРОВОЙ

Цуй Цзян, Лантев Р.С., Бордулев Ю.С.
Томский политехнический университет
ttszyan@mail.ru

Введение. Растения подвержены действию многих факторов. В различной степени на них влияют температура окружающей среды, дефицит влаги, повышенное содержание в атмосфере CO₂, присутствие в почве тяжелых металлов. Известно, что стресс у деревьев вызывает изменение дозы УФ радиации, дошедшей до поверхности земли и повышение концентрации токсичного тропосферного озона, особенно в промышленной зоне. Все это приводит к изменениям годичного прироста деревьев [1, 2].

Позитронная аннигиляционная спектроскопия (ПАС) является современным методом изучения структуры вещества [3, 4].

Первая задача – оценить, насколько возможно применение этого метода к сложному многокомпонентному по своей структуре объекту, каковы требования к форме образцов для исследования и дискретность датировки характеристик образцов.

Дальнейшие цели: выявить и датировать изменения древесины клеточных стенок в растущем дереве для твердотельной, жидкой и газовой составляющих древесины.

Материал и методы исследования. Спектрометр был реализован на основе быстро-быстрой схемы. В качестве детекторов использовались сцинтилляционные детекторы Hamamatsu H3378-50 на основе кристаллов BaF₂ цилиндрической формы, диаметром 30мм и толщиной 25 мм. Питание детекторов осуществлялось с помощью высоковольтного источника питания (ВИП, NHQ 203М). Спектрометрический комплекс включает в себя два дифференциальных дискриминатора постоянной составляющей (ДПС, FAST ComTech 7029А), блок наносекундной задержки (БНЗ, Canberra 2058), время-цифровой преобразователь (ВЦП, FAST ComTech 7072Т), многопараметровый многоканальный анализатор (МРА 4) и персональный компьютер с программным обеспечением для набора спектров (ПК). Схема спектрометрического комплекса представлена на рисунке 1.

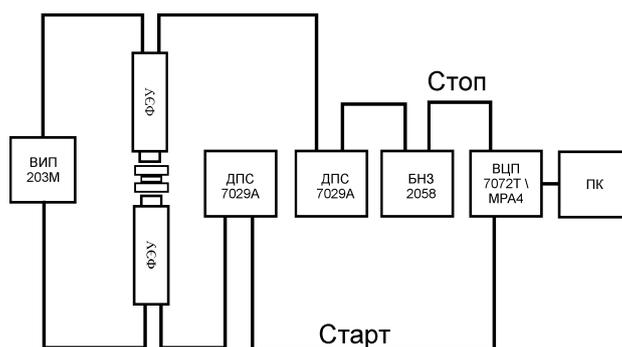


Рисунок 1. Схема спектрометрического комплекса.

Регистрация ядерного γ -кванта, с энергией 1,157 МэВ, является сигналом «старт», а регистрация аннигиляционного кванта, с энергией близкой к 0,511 кэВ, является сигналом «стоп». Время между двумя этими сигналами и является временем жизни позитрона в веществе. Импульсы с детекторов поступают на дифференциальные дискриминаторы, где осуществляется амплитудная селекция и привязка к временному фронту. Аналоговый сигнал с анода детектора «стоп» поступает на ДПС. Пороги дискриминации на нем установлены так, чтобы захватить область только аннигиляционного пика. Аналогично с сигналами «стоп».

Пороги установлены таким образом, чтобы провести селекцию импульсов, соответствующих ядерным γ -квантам [5].

Результаты исследований. В процессе анализа полученных данных было выделено 3 компоненты: 1 короткоживущая и 2 долгоживущие $\tau_1=373,4\pm 0,2$ пс, $\tau_2=1494,3\pm 4,1$ пс, $\tau_3=2757,5\pm 23,8$ пс. Первую компоненту, с относительной интенсивностью $\sim 80\%$, можно однозначно связать с аннигиляцией позитронов в твердом теле (целлюлоза, лигнин и т.д.). Компонента τ_2 , в соответствии с известными литературными данными ассоциируется с орто-позитронием в жидкостях (H_2O , смолы и т.д.), заполняющими внутри- и меж- клеточные пространства древесины. Третья компонента разложения ассоциируется с аннигиляцией орто-позитрония в газах (CO_2 , N_2 , O_2 и т.д.), также в внутри- и меж- клеточных пространствах древесины. На рисунке 2 представлены интенсивности разных компонент разложения в зависимости от слоя. Компонента τ_1 , с интенсивностью 80%, вносит основной вклад, поэтому характер зависимости среднего времени жизни τ_{avg} от слоя совпадает с характером зависимости τ_1 . Уменьшение среднего времени жизни может свидетельствовать об увеличении плотности при приближении к более «старым» годовым кольцам.

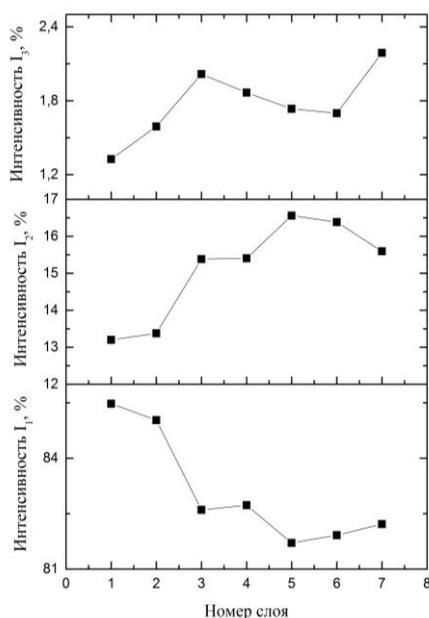


Рисунок 2. Изменение интенсивности компонент τ_1 , τ_2 и τ_3 в зависимости от слоя.

Заключение. Таким образом, ПАС является перспективным методом неразрушающего контроля структуры материалов, применяющимся в разных отраслях науки и техники.

Дальнейшее исследование в области ПАС и использование его в связке с другими методами поможет в разработке новых материалов.

1. Биоиндикация стратосферного озона // Под общей ред. В. В. Зуева; Рос. акад. наук, Сиб. отд., Институт оптики атмосферы [и др.]. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2006. – 228 с.

2. П.А. Кашулин, Н.В. Калачева, Н.А. Артемкина, С.А. Черноус// Фотохимические процессы в растениях на Севере и окружающая среда. Вестник МГТУ, Т. 12, №1, 2009. С. 137-142.

3. В.И. Гольдманский. Физическая химия позитрона и позитрония. М.: Наука, 1968.

4. В.И. Графутин, Е.П. Прокопьев. Применение позитронной аннигиляционной спектроскопии для изучения строения вещества. Успехи физических наук, 2002, т.172, с.67–83.

5. Р.С. Лаптев. Разработка метода аннигиляции позитронов для контроля дефектной структуры в системах металл-водород: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук — Томск: 2014. — 129 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИКИ ТЕМПЕРАТУРЫ ПОЧВЫ ПО ДАННЫМ НАТУРНЫХ НАБЛЮДЕНИЙ С ВЫСОКИМ ВРЕМЕННЫМ РАЗРЕШЕНИЕМ

Шуклина Е.С.¹, Воронай Н.Н.^{2,3}

¹ Томский государственный университет (г. Томск)

² Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН (г. Томск)

³ Институт географии им. В.Б. Сочавы СО РАН (г. Иркутск)

ekaterinakot99@gmail.com, voropay_nn@mail.ru

Для климатической оценки земной поверхности и атмосферы необходимо регулярно проводить наблюдения и измерения. Немаловажную роль играет их наличие и правильность.

Температура почв – важнейшая характеристика климатических, почвообразовательных, мерзлотных и инженерно-геологических условий. Она определяет функционирование наземных биогеоценозов, позволяя судить о чувствительности ландшафтов к антропогенному воздействию, изменению природной среды и климатическим флуктуациям. Особый интерес диктуется растущим вниманием научной общественности к проблеме глобального потепления [1].

АПИК (Атмосферно-почвенный измерительный комплекс) [2] предназначен для мобильных и стационарных долговременных автоматических измерений параметров атмосферы, почвы и водных объектов. Актуальность данного прибора состоит в его автономности, он может долгое время обходиться без обслуживания людей, хранить и обрабатывать большой массив данных о разных метеорологических характеристиках.

Цель данной исследовательской работы – определить какой оптимальный интервал времени необходим для измерения температуры на различных глубинах почвы с помощью прибора АПИК. Для того, чтобы память данного комплекса не засорялась лишней информацией, и он смог работать без вмешательства людей долгое количество времени, а из полученных данных можно было корректно определить среднюю суточную температуру почвы.

Для оптимизации системы измерения в данной работе был отдан приоритет расчету средних суточных температур почвогрунтов под естественным покровом. Использованы данные, полученные с помощью атмосферно-почвенного измерительного комплекса, установленного под руководством Института географии имени В. Б. Сочавы СО РАН в районе Тунксинской котловины, Республика Бурятия в летний период с 8.06.2014 по 13.08.2014. Температура фиксировалась ежеминутно.

Был рассчитан оптимальный шаг времени между измерениями, при котором сохраняется качество получаемой информации, т.е. точность определения средних суточных температур почвы не будет превышать порогового значения погрешности измерительного прибора 0,2°C.

Чем глубже проводятся измерения, тем больший интервал времени допустим для измерения температуры почвы, т.к. амплитуда суточного хода с глубиной убывает, и различия между последовательными измерениями уменьшаются.

Для того чтобы определить подходит нам тот или иной интервал времени была рассчитана разность средних суточных температур по всем глубинам за период, т.е. от средних суточных значений, полученных по данным с минутным шагом измерения отнимались средние суточные значения, полученные по данным с 5-минутным, 10-минутным интервалом и т.д.

Основные результаты исследования:

– Измерения температуры на поверхности почвы, на глубине 5 и 10 сантиметров должны проводиться 1 раз в час.

– На глубине 20 сантиметров температура почвогрунта фиксируется 8 раз в сутки (через каждые 3 часа).

– Каждые 6 часов должны проводиться измерения на глубине 40 см.

– Начиная с 80 см и до глубины 5 м, измерения температуры почвы необходимо проводить один раз в сутки.

1. Быховец С.С., Сороковиков В.А. и др. История наблюдений за температурой почвы на сети метеорологических станций России // Криосфера Земли, 2007, т. XI, № 1, С. 7–20.

2. Kiselev M.V., Voropay N.N., Dyukarev E.A., Kurakov S.A., Kurakova P.S., Makeev E.A. Automatic meteorological measuring systems for microclimate monitoring // IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science. 2018. №190. 012031. doi:10.1088/1755-1315/190/1/012031.

Научное издание

ХIII СИБИРСКОЕ СОВЕЩАНИЕ И ШКОЛА МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ
ПО КЛИМАТО-ЭКОЛОГИЧЕСКОМУ МОНИТОРИНГУ

ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ

Публикуется в авторской редакции,
в соответствии с оригинал-макетом заказчика

Подписано к печати 04.10.2019 г.
Формат 60x84/8.
Гарнитура Times New Roman. Бумага офсетная.
Печать трафаретная. Усл. печ. л. 34,06. Заказ № 16.
Тираж 130 экз.

Отпечатано в типографии ООО «Аграф-Пресс»
634050, РФ, г. Томск, ул. Гагарина, 37
тел. (3822) 25-24-84