

Федеральная служба России по гидрометеорологии
и мониторингу окружающей среды

ТРУДЫ

Сибирского регионального научно-исследовательского
гидрометеорологического института



Под редакцией
кандидата географических наук В.Н. Барахтина,
доктора физико-математических наук В.В. Костюкова

Новосибирск
Электронное издание
2006

УДК 551.509.3+63.551.5

В сборнике представлены результаты исследований в области региональных методов краткосрочных, долгосрочных методов погоды, гидрологии, агрометеорологии и контроля окружающей среды. Исследования отличаются практической направленностью и разнообразием используемых подходов.

Сборник рассчитан на специалистов в областях службы погоды, гидрометеорологии и экологии.

ОБ ИСПОЛЬЗОВАНИИ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ОПЕРАТИВНОЙ ТЕХНОЛОГИИ КРАТКОСРОЧНОГО ПРОГНОЗА ПОГОДЫ

Автоматизированная технология краткосрочного прогноза погоды по территории ответственности Среднесибирского УГМС находятся в оперативном использовании отдела метеопрогнозов Красноярского ЦГМС-Р с 1999 г. Технология реализует модели прогноза экстремальных, среднесуточных температур и полусуточных осадков по пунктам для теплого и холодного периодов. Моделирование основано на применении многомерного статистического аппарата, включающего альтернативные и регрессионные методы. Технологический комплекс включает программы, обеспечивающие отбор необходимой для расчетов оперативной информации из базы ГИСМЕТЕО, ее первичную обработку, расчеты по модельным алгоритмам, формирование архива исходных данных и оценку прогнозов.

В качестве расчетного метода при прогнозе температур использован множественный регрессионный анализ. Выбор параметров для построения решающего правила осуществляется по наилучшему множественному коэффициенту корреляции. На стадии разработки модели были опробованы и другие критерии выбора оптимальной совокупности прогностических признаков, в том числе оценка "скользящий контроль" [1]. Однако преимуществами этой оценки не всегда удастся воспользоваться в условиях реального оперативного прогноза. Численные эксперименты показали, что кривая зависимости ошибки прогноза, представленная в долях среднеквадратического отклонения δ_y , имеет хорошо выраженный минимум, приходящийся на интервал числа параметров от 10 до 18. В число этих параметров входят наиболее информативные и наименее зависимые между собой предикторы. К сожалению, реальная оперативная информация, особенно в начальный период эксплуатации модели, не всегда могла предоставить такой выбор. Увеличение числа параметров, позволяющее повысить информативность исходных данных, и их коррелированность, в силу принадлежности единому природному комплексу, приводят к получению неустойчивой обратной

матрицы $(X^T X)^{-1}$ в операторе перехода. Это эффект легко прослеживается при рассмотрении оценки дисперсии оператора B , определяемого формулой, даваемой методом наименьших квадратов (МНК):

$$B = (X^T X)^{-1} X^T Y \quad (1)$$

Здесь X — матрица предикторов, Y — вектор-столбец предиктанта, T — знак транспонирования. Рассмотрим оценку дисперсии в виде:

$$L[B^T B] = M[(B - \bar{B})^T (B - \bar{B})] = B^T B + \delta^2 \sum 1/\lambda_i \quad (2)$$

Здесь M — математическое ожидание, $\bar{B}$ — средняя оценка вектора B , δ^2 — дисперсия, λ_i — собственные числа матрицы $X^T X$. Из (2) хорошо видно, что при малых собственных числах дисперсия оценки МНК стремится к бесконечности. Малые λ_i возникают как раз тогда, когда параметры, образовавшие матрицу $X^T X$, хорошо коррелируют между собой.

Для преодоления проблем, возникающих в связи с взаимной корреляцией предикторов, предлагается метод гребневой регрессии [5], примененный в физико-статистической модели долгосрочного прогноза погоды (Еремин В.В.) и показавший хорошие результаты в развитии прогностических свойств этой модели. Метод заключается в регуляризации матрицы $X^T X$, т.е. добавлении к ее диагональным элементам заданного числа (параметра регуляризации); это позволяет использовать достаточно большое число взаимосвязанных метеопараметров для построения решающего правила. Численные эксперименты подтвердили возможность использования информационной совокупности из 50 предикторов, при этом корреляционная матрица пятидесятого порядка регуляризуется параметром $k = 1,5$. При этом для отбора параметров в совокупность достаточно использовать множественный коэффициент корреляции. Это и наиболее экономичный в смысле затрат вычислительных ресурсов алгоритм.

В связи с тем, что набор исходных параметров для прогноза может измениться из-за отсутствия тех или иных данных в оперативной информации, в момент прогноза происходит не просто восстановление зависимостей по заранее определенному уравнению регрессии, а полное переобучение модели с отбором параметров вектора-предиктора. При этом отбор происходит только среди тех метеохарактеристик, данные о

которых на соответствующий день присутствуют в исходной информации. Осуществление такого подхода в условиях оперативного прогноза стало возможно только при полной автоматизации всего технологического процесса, связанного с подготовкой исходных данных и модельными расчетами. Матрицы коэффициентов корреляции $X^T X$ и XU рассчитаны заранее для всего ансамбля метеопараметров, образующих обучающую выборку. Из этих матриц в момент прогноза выбираются только элементы, соответствующие набору предикторов в исходной оперативной информации. Таким образом, модель строит решение только на объективных фактически наблюдаемых данных, обходя "дыры" в исходной информации.

С другой стороны, такой подход позволяет, при необходимости, легко дополнить обучающую выборку новыми рядами метеопараметров, не нарушая никаких заранее определенных фиксированных оптимальных совокупностей и решающих правил. Потребность в дополнении возникает, например, в случае расширения географии прогноза или списка предиктантов. Это бывает так же необходимо и в случае изменений в функционировании наблюдательной сети. Динамическая структура обучающей архивной выборки, а также и всего программного комплекса автоматизированной технологии краткосрочного прогноза позволяют постоянно обновлять ансамбль предикторов. Физика процесса отражена в наборе параметров, и хотя модель работает таким образом, что может построить решающее правило из любых предложенных предикторов, лишь бы их было не меньше определенного заранее заданного числа (в рассматриваемом случае их 50), качество прогноза явно зависит от насыщения архива. Особенно это заметно при прогнозе элементов погоды для пунктов северной части территории. Объективная слабая "освещенность" метеоданными этого региона в оперативной практике зачастую сопровождается непоступлением информации с северных станций. Поэтому, одновременно с эксплуатацией модели ведется постоянная работа по дополнению обучающей выборки рядами наблюдений метеостанций со слабо "освещенных" территорий; рядами, которые могут быть сформированы на основе имеющихся архивных материалов.

Основа прогноза осадков — альтернативные модели. Одна из них — вероятностная альтернативная модель. Прогнозируемый параметр (предиктант) —

величина условной вероятности выпадения ночных или дневных осадков для конкретного пункта. Предиктант принимает значение "1", если расчетная вероятность не меньше 0,5, и "0", если меньше. Для определения значения условной вероятности используется "правило ближайших соседей" [2]. Архивные ситуации, составляющие обучающую выборку, выстраиваются в порядке возрастания их расстояния от текущей ситуации. В соответствии с ними выстраивается и ряд предиктанта, состоящего из фактических значений вероятностей, т. е. "0" — осадки не наблюдались и "1" — осадки наблюдались. По выстроенному ряду для каждого его члена рассчитывается вероятность выпадения осадков как отношение суммы вероятностей, соответствующих "ближайшим" ситуациям, к числу этих ситуаций. Оптимальное число "ближайших" ситуаций соответствует максимальному значению вероятности. После вычислительных экспериментов по оптимизации технологии прогноза было определено, что максимум апостериорной вероятности всегда достигается на интервале, входящем в первую половину ряда "ближайших соседей", следовательно, вычисления могут быть ограничены этой областью.

Исходная (текущая) ситуация для каждого из прогнозируемых параметров определяется набором предикторов, составляющих информационную совокупность. Каждая из архивных ситуаций должна определяться тем же набором предикторов, что и текущая, иначе расстояние между ними не может быть определено. Оперативные данные, составляющие архив, не всегда бывают представлены в полном объеме, поэтому реальная обучающая выборка меняется в соответствии с текущей ситуацией. Ее составляют только те дни, в которые известны все параметры информационной совокупности. Количество "ближайших" ситуаций, по которым определяется вероятность выпадения осадков, не задано в модели заранее, оно зависит от длины архивного ряда, полученного для конкретного предиктанта. Этот принцип заложен в алгоритм, реализующий модельные расчеты.

Выбор параметров информационной совокупности для вероятностной альтернативной модели прогноза осадков осуществляется по расстоянию Махаланобиса:

$$\Delta^2 = (M(A_0) - M(A) / \delta)^2$$

Здесь $M(A_0)$ — математическое ожидание предиктора в классе его значений, соответствующих ситуации "без осадков", $M(A)$ — то же в классе его значений, соответствующих ситуации "осадки", δ — дисперсия предиктора, определенная по всему ряду наблюдений. Предикторы априори ранжированы с использованием всего объема обучающей выборки отдельно для каждого из предиктантов. В информационную совокупность входят первые N параметров, которым соответствуют большие расстояния Махаланобиса. Содержание совокупности может меняться в зависимости от наличия метеопараметров в исходной оперативной информации за срок 00 МСВ текущего дня. Численные эксперименты по определению оптимального числа предикторов в совокупности проводились для дискретных значений $N=10,20,50$. Лучшие оценки получены для $N=10,20$ (в оперативных расчетах решено использовать $N=20$). К сожалению, вычислительный алгоритм, основанный на минимизации количества ошибок разделения ситуаций и позволяющий объективно оптимизировать число параметров, не достаточно быстрый и не может быть использован в оперативном прогнозе.

Описанная модель работает успешнее для тех предиктантов, которым соответствует более высокая априорная вероятность осадков, т. е. большее фактическое содержание дней с осадками в обучающей выборке (40-50%). Она используется для прогноза полусуточных осадков по пунктам северной и центральной части территории.

Для тех пунктов, где осадки наблюдаются не чаще, чем в 30% случаев (юг территории), используется другая модель прогноза, реализующая алгоритм построения гиперплоскости, разделяющей классы ситуаций с осадками и без осадков. Для расчета коэффициентов гиперплоскости используется метод псевдообращения [4]. Критерий оптимального разделения — минимизация ошибок разделения. Выбор составляющих вектора-предиктора осуществляется путем упорядочения исходных параметров методом включения [3]. В качестве первого предиктора выбирается тот, совокупность значений которого разделяется точкой на прямой с минимальным числом ошибок. В качестве каждого следующего (n -го) предиктора выбирается тот, который вместе с первыми $n-1$ дает минимальное число ошибок при разделении точек в n -мерном пространстве. Процесс отбора предикторов продолжается, пока включение новых параметров обеспечивает уменьшение числа ошибок разделения ситуаций. В реализованной модели

прогноза осадков количество предикторов для различных предиктантов варьируется от 4 до 11. После каждого включения очередного предиктора пересчитываются коэффициенты гиперплоскости.

В оперативных испытаниях в отделе метеопрогнозов Красноярского ЦГМС-Р в апреле-сентябре 2004 г. этот метод показал лучшие результаты в предусмотренности осадков по пунктам южной части территории по сравнению с вероятностной альтернативной моделью, использующей отбор предикторов по расстоянию Махаланобиса. По результатам испытаний было принято решение о внедрении модели, основанной на построении гиперплоскости с отбором предикторов методом включения, в оперативную практику в качестве основного расчетного метода при прогнозе осадков на 24-36 час по пунктам южной части территории.

В качестве обучающей выборки и для регрессионного, и для альтернативных модельных алгоритмов используется архив предикторов, представляющих данные приземных наблюдений на более чем 50 метеостанциях и аэрологических наблюдений на 33 станциях в срок 00 МСВ за период 1982-93 гг. Район сбора исходной информации — территория Западной, Центральной и Юго-Восточной Сибири. В качестве предикторов фигурируют температура, давление, приведенное к уровню моря, температура точки росы, барическая тенденция у земли, температура, геопотенциал, температура точки росы на изобарических поверхностях 850гПа, 700 гПа, 500 гПа, скорость и направление ветра на уровне 700 гПа. Скорость и направление ветра заменяются широтной и меридиональной составляющими вектора скорости. В качестве предикторов используются также экстремальные и среднесуточные температуры за предыдущий день. В настоящее время общий объем параметров, участвующих в отборе, — 575. Обучающая выборка разделена на периоды: теплый — апрель-сентябрь, холодный — октябрь-март.

Оперативные данные, описывающие текущую ситуацию, автоматически отбираются из базы ГИСМЕТЕО в 10.00 местного времени (через 2 часа после срока наблюдения 00 МСВ). На отбор данных, их первичную обработку и расчеты по модельным алгоритмам уходит не более 15 мин., после чего результаты прогноза поступают синоптику, что дает ему возможность включить эту информацию в общий

анализ до начала обсуждения прогноза. Средние оценки качества за период эксплуатации модели: прогноз температуры воздуха по теплому периоду — 78%, по холодному периоду — 67%, прогноз осадков — 68%.

В процессе эксплуатации оперативная технология модернизируется. Программный комплекс, обеспечивающий отбор данных из базы ГИСМЕТЕО, изменяется с изменением параметров базы и возможности доступа к ней. Расчетные методы, реализующие прогнозы метеопараметров, могут заменяться другими, показавшими лучшие результаты с точки зрения качества прогноза, как это было сделано в случае прогноза осадков. Расширяется список предиктантов. Сопровождение оперативной технологии в отделе разработки и внедрения гидрометеопрогнозов Красноярского ЦГМС-Р включает также контроль оправдываемости модельных прогнозов и создание электронного архива из оперативных данных, полученных по каналам связи. Накопленные архивные данные могут быть использованы как в качестве обучающей выборки для разработки новых модельных алгоритмов, так и для проведения авторских испытаний на независимом материале.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Вапник В. Н. Алгоритмы и программы восстановления зависимостей. М.: Наука, 1984. 816 с.
2. Виноградова Г. М. О выборе параметров в альтернативных моделях. // Труды ЗапСибНИГМИ. 1981. Вып. 48. С. 46–52.
3. Виноградова Г.М., Романов Л.Н. О линейном разделении ситуации с помощью плоских вращений. // Труды ЗапСибНИИ. 1981. Вып. 48. С. 8-16.
4. Дуда Р., Харт П. Распознавание образов и анализ сцен. М.: Мир, 1976. 511 с.
5. Еремин В. В., Аксенова Е. А. О применении гребневой регрессии к задаче долгосрочного прогноза погоды // Тр. 5-го Всесоюзного совещания по применению статистических методов в метеорологии. 1987. С. 51–53.

В.В.Еремин, М.М.Ермина, Л.И.Виноградова

ОПЫТ ЭКСПЛУАТАЦИИ ФИЗИКО-СТАТИСТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ДОЛГОСРОЧНОГО ПРОГНОЗА ПОГОДЫ

Методологической основой данной разработки являлся физико-статистический метод прогноза большей заблаговременности, созданный в отделе динамической метеорологии ГГО им. А.И.Воейкова под руководством профессора М.И.Юдина [7]. Ввиду того, что полное детерминированное описание многокомпонентной системы крупномасштабных процессов в атмосфере вряд ли возможно, развитие физико-статистического подхода к проблеме долгосрочного метеорологического прогнозирования является весьма значимым. Этот подход ассимилировал в себе все достижения в различных направлениях изучения крупномасштабной погоды, в нем сочетается физический, статистический и гидродинамический подходы.

Знание физических закономерностей находит отражение в начальном описании погодообразующих звеньев системы "атмосфера-океан-деятельный слой суши", выраженном в банках данных о состоянии системы. Остановимся коротко на требованиях, предъявляемых к исходной информации, сформулированных в трудах М.И.Юдина, А.В.Мещерской и др. [8, 9].

Первое требование, вытекающее из анализа развития крупномасштабных атмосферных процессов, состоит в полноте совокупности. Это требование означает, что совокупность предикторов должна характеризовать все основные особенности начального состояния физической системы, в которой развиваются крупномасштабные долговременно живущие процессы. Совершенно очевидно, что такую систему образуют атмосфера Земли, мировой океан и деятельный слой суши.

Вторым требованием является информативность предикторов - предикторы должны содержать информацию о крупномасштабных процессах большой длительности. Достичь этого можно путем применения к исходным рядам параметров специальных преобразований, позволяющих выделить наиболее значимую часть информации. Поэтому все исходные параметры представлены в виде коэффициентов разложения по

естественным ортогональным составляющим [5]. Дело в том, что крупномасштабность колебания тесно связана со временем релаксации атмосферных движений, т.е., чем больше масштаб, тем больше время жизни возмущения определенного знака. Колебания небольших масштабов являются в задаче долгосрочного прогноза попросту шумами, и их учет может внести искажения в реальную картину процесса. Считается, что к главным колебаниям можно относить компоненты, содержащие от 60 до 80 процентов дисперсии исходной информации.

Третье требование - учет статистической неоднородности процессов внутри месяца. Этот принцип очень важен, т.к. смена характера атмосферной циркуляции часто происходит внутри периода, по которому осуществляется осреднение. Использование дисперсий основных параметров в качестве предикторов позволяет, в известной мере, учесть это ограничение. Для предиктантов, являющихся непрерывными количественными характеристиками (среднемесячные температуры, суммы осадков), применяется пентадное осреднение архивных данных.

Базовая часть архива предикторов (архив ГГО), состоящая из параметров, описывающих состояние системы "атмосфера-океан-деятельный слой суши" на всем северном полушарии, пополняется два раза в год. Это дает возможность производить модельные расчеты также два раза в год: в феврале – для весенне-летнего сезона и в августе – для осенне-зимнего. Десятилетний опыт эксплуатации модели в Среднесибирском УГМС подтвердил целесообразность такого технологического цикла. Хотя заблаговременность прогноза для последних месяцев сезона существенно больше, чем для первых, на качестве прогноза это не отражается. Предиктанты и часть предикторов, включающая параметры, характеризующие регион прогноза, поступают в архив ежемесячно. Однако эксперименты по уточнению сезонных прогнозов с учетом дополнительной информации не показали заметного улучшения качества.

Известные трудности статистического моделирования в долгосрочном прогнозе связаны с весьма ограниченной длиной выборки и большой степенью коррелированности предикторов. Контроль качества восстановления в процессе построения прогностического правила на основе некой оптимальной совокупности параметров предполагает наличие независимой выборки, что практически

неосуществимо из-за небольшой длины рядов наблюдений. В связи с этим, при выборе предикторов было предложено воспользоваться оценкой "скользящий контроль" [1]. При применении этой оценки из обучающей последовательности, каковой является вся выборка, последовательно исключается одна ситуация, и по выборке меньшей длины минимизируется функция качества. Затем исключенная ситуация включается в выборку, а исключается следующая ситуация и т.д., до момента полного перебора всех ситуаций. На основе минимизации предложенной оценки можно провести и упорядочивание параметров, и определение их оптимального числа.

Параллельно с введением в технологию расчетов "скользящего контроля" применяется метод "ридж-оценки" или гребневой регрессии [2]. Гребневая регрессия является частным случаем общего подхода в решении некорректных задач методом регуляризации. Некорректность задачи вытекает из наличия плохо обусловленного оператора - матрицы $(X^T X)^{-1}$ в регрессионном соотношении, что делает невозможным получение устойчивого решения. Плохая обращаемость матрицы $X^T X$, возникающая как следствие корреляции предикторов между собой, не может быть устранена в задачах прогноза погоды исключением из отбора оптимальной совокупности взаимосвязанных параметров, т.к. сама эта взаимосвязанность обусловлена спецификой изучаемой системы. Регуляризация позволяет получить корректное решение задачи прогноза без ущерба для информативности исходных данных.

Для случая гребневой регрессии оценка качества функции $T_k(x, y)$, минимизирующей на заданной последовательности наблюдений эмпирический риск, имеет вид:

$$T_k(x_1, y_1, \dots, x_l, y_l) = \frac{1}{l} \sum_{i=1}^l \frac{(y_i - f_i^T (x_l^T x_l + kI)^{-1} x_l^T y_l)^2}{(1 - f_i^T (x_l^T x_l + kI)^{-1} f_i^T)^2} \quad (1)$$

Здесь l — длина выборки; x_i, y_i — признаки, описывающие природный процесс, f_i — i -я строка матрицы предикторов; x_l — l -мерный вектор-столбец значений предиктов, y_l — предиктантов; T — знак транспонирования; I — единичная матрица, k — параметр регуляризации (параметр гребня), подлежащий определению. Оценка «скользящий контроль» весьма существенно отличается от оценки по МНК наличием знаменателя,

который определяет поправку, возникающую в силу усечения обучающей последовательности.

Применение оценки вида (1) рассмотрено в работе [3] для случая долгосрочного прогноза температуры по Западной Сибири. Сравнение оценок качества прогноза на основе гребневой регрессии и метода наименьших квадратов показало заметное преимущество первого. Задача определения параметра регуляризации κ решается с использованием сочетания структурной минимизации эмпирического риска и метода просеивания. Исследования качества восстановления с использованием статистической регуляризации в зависимости от значения параметра κ показали, что характерной особенностью зависимости эмпирического риска от κ является наличие плохого минимума, который расположен в интервале κ от 0,4 до 0,9. Ошибки восстановления слабо меняются в указанном интервале изменений κ . Этот эффект значительно упрощает вычислительный алгоритм, т.к. позволяет зафиксировать величину $\kappa = 0,5$ и исключить поиск ее оптимального значения без значительной потери точности. Следовательно, основным моментом при построении прогностических соотношений остается поиск оптимального вектора – предиктора в соответствии с (2) при фиксированном значении параметра регуляризации.

Формирование оптимального вектора-предиктора осуществляется на основе метода просеивания, широко используемого в задачах статистического прогнозирования погоды. Идея его состоит в упорядоченном переборе всей совокупности предикторов. На первом шаге находится первый предиктор по максимальному коэффициенту корреляции, а затем, поиск ведется по минимальному значению $T(\kappa)$, до тех пор, пока величина $T(\kappa)$ не начнет расти с добавлением новых предикторов. Вопрос о единственности оптимальной совокупности был решен в пользу коллектива решающих правил. Как показано в [4], на основе оценки МНК (т.е. при $\kappa = 0$) может быть получено определенное множество решающих правил, обладающих близкими средними оценками качества независимого прогноза. Преимущество одного из них перед другими при прогнозе на конкретный год невозможно определить. Возникшую неопределенность в принятии решения было предложено устранить методом неформального комплексирования, основанный на визуальной оценке наиболее вероятного

прогностического значения, прогнозируемой характеристики [4]. Было показано, что этот способ приводит к устойчивому повышению качества прогноза по сравнению с индивидуальным решением. При этом, однако, возникала неопределенность, связанная с некоторым субъективизмом визуальной оценки графического отображения коллектива решающих правил.

При наличии большого числа прогнозов за длительный совместный период можно построить линейную множественную регрессию на основании вышеописанных алгоритмов для определения итогового решения. Однако этот прием зачастую неприемлем из-за коротких рядов совместных прогнозов. В нашем случае он также был неприемлем и потому, что при прогнозе на каждый конкретный год находился новый вектор-предиктор и, следовательно, нельзя было построить ряды прогнозов для фиксированных совокупностей предикторов. Кроме того, применение двойной регрессии было связано с большим объемом вычислительных ресурсов. На определенном этапе эксплуатации модели развитие вычислительной базы позволило осуществить этот подход. Технология модельных расчетов была модернизирована с учетом предыдущих разработок. С применением гребневой регрессии на основе случайного выбора составляется коллектив совокупностей предикторов, состоящих из определенного числа и набора параметров. Экспериментально было показано, что такие совокупности эквивалентны в смысле качества восстановления, если содержат достаточно большое количество параметров ($n = 50$) из представленных в обучающей выборке. Возникающая при таком большом числе предикторов плохая обусловленность обратной матрицы исправляется механизмом регуляризации. Таким образом удается получить ряды прогнозов для фиксированных совокупностей предикторов и построить линейную множественную регрессию для определения итогового решения. Такая вычислительная технология, реализующая физико-статистическую модель прогноза на сезон полей температуры и количества осадков с декадной и месячной детализацией по территории Красноярского края, Эвенкии, Хакасии и Тувы, находится в оперативном использовании более 10 лет.

В таблице 1 приведены средние оценки качества модельных сезонных прогнозов и месячных прогнозов ГМЦ Иркутского ЦГМС-Р по территории ответственности

Среднесибирского УГМС, а также оценки климатического прогноза температуры за период 2000-04 гг. в соответствии с Наставлением [6]. Исходя из общих оценок оправдываемости, нет оснований говорить о преимуществе модельного прогноза. В отдельные месяцы за рассматриваемый период модель показала очень низкое качество прогнозов. Все эти случаи соответствуют нестабильным в климатическом смысле месяцам. Качество "иркутского" прогноза несущественно выше, и так же в отдельные месяцы средние оценки его оправдываемости не превышают 50 %.

Таблица 1

**Средние показатели оправдываемости долгосрочных прогнозов
среднемесячной температуры за период 2000-04 гг.**

Месяц	Оправдываемость (%)			Показатель ρ модельного прогноза
	Климатический прогноз	Модельный прогноз	Прогноз ГМЦ Иркутского ЦГМС-Р	
январь	16,5	19,7	60,8	-0,3
февраль	20,5	87,9	29,3	0,8
март	33,5	34,6	83,8	-0,2
апрель	81,5	55,8	77,6	0,1
май	36,5	65,6	60,6	0,4
июнь	29,8	37,7	29,3	0,0
июль	80,8	71,7	77,6	0,2
август	71,7	66,7	69,3	0,4
сентябрь	90,0	77,1	92,2	0,5
октябрь	69,6	61,5	43,7	0,2
ноябрь	31,5	35,4	45,9	0,1
декабрь	25,4	29,2	8,2	-0,1
Средняя	48,9	53,6	56,5	0,2

Преимущество модели очевидно в предусмотренности значительных отклонений от нормы (таблица 2). Технология модельного прогноза вполне объективна и позволяет дать "рискованный прогноз" — спрогнозировать значительные отклонения от нормы, тогда как прогноз, имеющий известную долю субъективности придерживается градаций: "норма", "выше (ниже) нормы".

Таблица 2

Предусмотренность значительных отклонений от нормы в прогнозах месячной температуры (2000-2004 гг.)

Месяц	Положительные значительные отклонения от нормы			Отрицательные значительные отклонения от нормы		
	Фактически наблюда-лось	Прогнозировалось		Фактически наблюда-лось	Прогнозировалось	
		Значи-тельно выше нормы	Выше нормы		Значи-тельно ниже нормы	Ниже нормы
январь	50	14	2	39	1	0
февраль	82	73	5	0	0	0
март	72	2	18	0	0	0
апрель	2	0	0	2	0	0
май	49	0	16	0	0	0
июнь	41	0	3	0	0	0
июль	0	0	0	0	0	0
август	12	0	0	0	0	0
сентябрь	0	0	0	1	0	1
октябрь	9	3	5	2	0	0
ноябрь	49	21	23	24	0	0
декабрь	26	6	8	48	3	2
всего	392	119	80	116	4	3
%		30,4	20,4		3,5	2,6

Из таблицы 2 видно, что модельным прогнозом предусмотрено более 50% аномально высоких среднемесячных температур, наблюдавшихся на территории Красноярского края, Эвенкии, Хакасии и Тувы в период 2000-04 гг., причем 30% аномалий прогнозировались как значительные, отрицательные аномалии предсказаны только в 6% случаев. Лучшие результаты по предсказанию положительных аномалий безусловно связаны с тем фактом, что за последние годы из всех наблюдавшихся случаев больших отклонений от нормы среднемесячных температур более чем в 77% норма превышалась, что составило 27% от всего объема наблюдений за среднемесячной температурой, значительные же отрицательные аномалии составили всего 2% от всех наблюдений. В прогнозах ГМЦ Иркутского ЦГМС-Р 38% случаев значительных положительных аномалий температуры предусматривались прогнозом как "выше нормы", в случаях с отрицательными значительными аномалиями прогнозировалась либо норма, либо незначительно выше нормы.

В таблице 3 приведена оценка прогнозов осадков.

Таблица 3

**Средние показатели оправдываемости долгосрочных прогнозов
месячных сумм осадков за период 2000-04 гг.**

Месяц	Оправдываемость (%)	
	Модельный прогноз	Прогноз ГМЦ Иркутского ЦГМС-Р
январь	70,0	67,4
февраль	63,7	79,3
март	53,7	52,5
апрель	67,5	81,3
май	65,0	62,5
июнь	70,0	78,1
июль	75,0	72,5
август	81,2	82,5
сентябрь	75,0	50,0
октябрь	81,2	70,3
ноябрь	76,3	65,1
декабрь	73,7	49,8
Средняя	71,0	67,6

Качество модельного прогноза в среднем несколько превышает качество "иркутского" прогноза. Оценка климатического прогноза для сравнения не проводилась, т.к. по Наставлению она получается явно завышенной: прогноз нормы может быть оценен только на 100 или 50 процентов, даже при очень больших фактических отклонениях от нормы. К преимуществам рассматриваемой модели можно отнести то, что прогноз осадков дается в количественном выражении, а не в градациях по отношению к норме.

В целом анализ полученных оценок качества модельных прогнозов позволяет говорить о ее реальной практической ценности. К преимуществам модельного прогноза можно отнести возможность предсказания значительных аномалий температуры и прогноз сумм месячных осадков в количественных значениях при сохранении качества прогноза на среднем уровне оправдываемости долгосрочных прогнозов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Вапник В. Н. Алгоритмы и программы восстановления зависимостей. М.: Наука, 1984. 816 с.
2. Демиденко Е. З. Линейная и нелинейная регрессия. М.: Финансы и статистика, 1981. 302 с.
3. Еремин В. В., Аксенова Е. А. О применении гребневой регрессии к задаче долгосрочного прогноза погоды // Тр. 5-го Всесоюзного совещания по применению статистических методов в метеорологии. 1987. С. 51–53.
4. Еремина М. М., Еремин В. В. Об одном способе уменьшения неопределенности в выборе решающего правила при регрессионном прогнозе//Тр.ЗапСибНИГМИ. 1989. Вып. 88. С. 121–128.
5. Мещерская А. В., Руховец Л. В., Юдин М. И., и др. Естественные ортогональные составляющие метеорологических полей. Л.: Гидрометеиздат, 1970. 199 с.
6. Наставление по службе прогнозов. Раздел 2. Ч. IV. Служба метеорологических прогнозов. М.: Гидрометеиздат, 1986.
7. Юдин М. И. Физико-статистический метод долгосрочных прогнозов погоды. Л.: Гидрометеиздат, 1968. 28 с.
8. Юдин М. И., Мещерская А. В. Комплексный физико-статистический метод прогноза погоды большой заблаговременности // Метеорология и гидрология. 1977. № 1. С. 3–12.
9. Юдин М. И., Мещерская А. В., Блажевич В. Г. Характеристика гидрометеорологической информации, использованной при долгосрочном физико-статистическом прогнозе температуры и осадков для районов недостаточного увлажнения // Тр. ГГО. 1969. Вып. 236. С. 45–63.

О ПРИМЕНЕНИИ АЛЬТЕРНАТИВНОЙ МОДЕЛИ КРАТКОСРОЧНОГО ПРОГНОЗА ОСАДКОВ

Для решения задач краткосрочного прогноза осадков широкое применение нашли линейные альтернативные модели, использующие методы многомерной статистики, основанные на определении степени связи количества осадков (предиктанта) с параметрами, характеризующими состояние атмосферы (предикторами) [7, 5]. В альтернативных моделях прогноз возможности осадков делается на основе отнесения текущей синоптической ситуации к одному из классов «Наличие осадков» или «Отсутствие осадков». Решать эту задачу, относящуюся к задачам распознавания образов, удобно с помощью алгоритма построения гиперплоскости, разделяющей классы ситуаций, основанном на методе псевдообращения [4]. При этом разделение желательно проводить так, чтобы число ошибок разделения было минимальным. Решающее значение в этом случае приобретает выбор совокупности параметров (предикторов), по которым будет осуществляться построение гиперплоскости. Эффективный выбор такой совокупности осуществляется, как правило, путем упорядочения исходных параметров и выбора подходящего числа первых из полученного упорядоченного множества. Основные трудности при этом связаны с большим объемом вычислительных работ и выбором принципа определения оптимального числа первых параметров из упорядоченного множества.

Разделение ситуаций на классы осуществляется, как правило, путем последовательного изменения числа параметров и уточнения коэффициентов разделяющей гиперплоскости. При этом оптимальная совокупность параметров выбирается таким образом, чтобы при увеличении числа параметров обеспечивалось уменьшение числа ошибок разделения (принцип минимума среднего риска).

1. Построение гиперплоскости методом псевдообращения

Известно [1], что два конечных множества n -мерных векторов (ситуаций) X и $\bar{X}$ разделены гиперплоскостью, если существует такой единичный вектор φ и такое число c , что для любого вектора $x_i \in X$ справедливо неравенство

$$x_i^1 \varphi^1 + x_i^2 \varphi^2 + \dots + x_i^n \varphi^n = (x_i, \varphi) > c, \quad (1)$$

а для любого вектора $\bar{x}_j \in \bar{X}$ - неравенство

$$(\bar{x}_j, \varphi) < c. \quad (2)$$

Тогда множество X отделимо от множества $\bar{X}$ гиперплоскостью

$$(x, \varphi) = c. \quad (3)$$

Определим для вектора φ две величины – $c_1(\varphi)$ и $c_2(\varphi)$:

$$c_1 = \min_{x_i \in X} (x_i, \varphi), \quad c_2 = \max_{\bar{x}_j \in \bar{X}} (\bar{x}_j, \varphi). \quad (4)$$

Тогда пара $\varphi, \frac{(c_1 + c_2)}{2}$ определяет гиперплоскость

$$(x, \varphi) = \frac{(c_1 + c_2)}{2}, \quad (5)$$

отделяющую множество X от множества $\bar{X}$. В нашем случае множество X включает в себя ситуации, относящиеся к классу «Наличие осадков» (т.е. наличие осадков в ситуациях, следующих за текущими), а множество $\bar{X}$ – соответственно ситуации, относящиеся к классу «Отсутствие осадков».

Таким образом, для того чтобы определить, к какому классу относится текущая синоптическая ситуация, необходимо подставить соответствующие значения отобранных предикторов в левую часть уравнения (5). Если вычисленное значение левой части уравнения (5) окажется больше правой части, то текущая ситуация относится к классу «Наличие осадков», в противном случае – к классу «Отсутствие осадков».

Для расчета коэффициентов гиперплоскости использовался метод псевдообращения матриц [4]. В этом случае решение задачи сводится к решению системы линейных уравнений вида

[illegible]

или в матричном виде

$$A\varphi = b, \quad (7)$$

где коэффициенты вектора b (так называемого допуска) принимают значения 1, если вектор $x_i \in X$, и 0 – если вектор $\bar{x}_j \in \bar{X}$.

Матрица A является прямоугольной, у которой число строк m больше числа столбцов n . В этом случае для нахождения значений вектора φ используется метод наименьших квадратов, минимизирующий квадрат длины вектора ошибки $e = A\varphi - b$:

$$J = \|A\varphi - b\|^2 = \sum_{i=1}^m (\varphi^t x_i - b_i)^2. \quad (8)$$

Образовав градиент

$$\nabla J = 2 \sum_{i=1}^m (\varphi^t x_i - b_i) x_i = 2A^t(A\varphi - b) \quad (9)$$

и приравняв его к нулю, получим

$$A^t A \phi = A^t b. \quad (10)$$

Отсюда вектор φ может быть определен однозначно:

$$\varphi = (A^t A)^{-1} A^t b = A^T, \quad (11)$$

где $A^T = (A^t A)^{-1} A^t$ называется псевдообращением матрицы A .

Таким образом, чтобы построить гиперплоскость, разделяющую ситуации на два класса, необходимо выбрать совокупность параметров (предикторов), задать их число n и выполнить описанные выше действия.

В качестве обучающей выборки модель использует архив данных приземных и аэрологических наблюдений, освещающих территорию Западной и Центральной Сибири за теплый период (апрель÷сентябрь) 1982÷93 гг, полученных в срок 00СГВ. Для

прогноза осадков архив был дополнен данными измерений полусуточных осадков на 16 станциях, расположенных по территории Среднесибирского УГМС от Таймыра до Тувы. В целом архив включает 2182 синоптических ситуаций, следующих в строгом хронологическом порядке от даты 01.04.гг до даты 29.09.гг (гг – значение года от 82 до 93), каждая из которых была представлена более чем 600 параметрами. Синоптическая ситуация, датированная числом дд.мм.гг, относилась к классу «Наличие осадков» или «Отсутствие осадков» в зависимости от того, был ли зарегистрирован факт осадков в следующей за ней ситуации, датированной числом дд+1.мм.гг.

2. Методики выбора совокупности предикторов для альтернативных моделей прогноза осадков

В отделе разработки и внедрения гидрометеопрогнозов (ОриВГМП) Красноярского ЦГМС-Р в 2003 г. и в начале 2004 г. разработаны методики и подготовлены для проведения авторских испытаний в апреле-сентябре 2004 г. две модели альтернативного прогноза полусуточных осадков теплого периода на основе построения разделяющей гиперплоскости, с заблаговременностью 24 ч (на ночь) и 36 ч (на день), для 16 метеостанций, расположенных на территории Среднесибирского УГМС.

В первой методике отбор предикторов для определения коэффициентов гиперплоскости осуществляется по методу просеивания, позволяющему отобрать предикторы, несущие наибольшее количество информации о предиктанте [7, 3].

В другой методике подбор предикторов осуществляется по методу включения [2].

2.1. Методика отбора предикторов по методу просеивания

Хорошо известно, что между многими предикторами существует связь. Привлекая сильно связанные между собой предикторы, мы фактически не используем новой информации для нахождения коэффициентов гиперплоскости. Метод просеивания позволяет отбросить предикторы, не несущие новой информации [7, 3]. Согласно

алгоритму этого метода на первом шаге выбирается предиктор, имеющий максимальный по величине коэффициент парной корреляции между предиктантом и предиктором, а затем находятся коэффициенты корреляции между выбранным предиктором и остальными. После этого с помощью определенной процедуры производится ортогонализация значений предикторов. Среди ортогонализированных предикторов вновь выбирается предиктор, наиболее тесно связанный с предиктантом, и т.д. В результате выбирается такое число предикторов, которое обеспечивает минимальное число ошибок разделения ситуаций.

Более подробное описание алгоритма отбора предикторов приведено в работе [3]. Обозначим через x_0 предиктант и через $\{x_i^{(0)}\}$ ($i = 1, \dots, N$) совокупность предикторов – величин, статистически связанных с x_0 коэффициентами корреляции $r_{0i}^{(0)}$; x_0 и $x_i^{(0)}$ представляют собой отклонения от средних, так что их математические ожидания равны нулю. Обозначим через σ_i^2 дисперсию предиктора x_i . Выберем наибольшее по абсолютной величине значение из совокупности $\{r_{0i}^{(0)}\}$, обозначим его через $R_{j_1}^{(1)}$. Очевидно, что соответствующий предиктор j_1 можно интерпретировать как предиктор, который содержит больше всего информации о предиктанте x_0 . Оставшиеся предикторы $(N - 1)$ связаны также с предиктором j_1 коэффициентами корреляции $r_{i,j_1}^{(0)}$.

Следующий шаг процедуры отбора предикторов должен заключаться в отфильтровывании в оставшихся $(N - 1)$ предикторах той информации, которая уже выбрана при использовании предиктора j_1 . Для этого определим новый набор предикторов следующим образом:

$$x_i^{(1)} = x_i^{(0)} - r_{j_1,i}^{(0)} \cdot x_{j_1}^{(0)} \cdot \frac{\sigma_i^{(0)}}{\sigma_{j_1}^{(0)}} \quad (i \neq j_1). \quad (12)$$

Теперь можно приступить к выбору следующего предиктора. Для этого вычислим коэффициенты корреляции между предиктантом x_0 и совокупностью предикторов $\{x_i^{(1)}\}$. Пусть это будут $\{r_{0i}^{(1)}\}$. Опять выберем предиктор, соответствующий наибольшему

по абсолютному значению $[r_{0i}^{(1)}]_{\max} = R_{j_2}^{(2)}$. Вычислим коэффициенты корреляции $r_{j_2,i}^{(2)}$ и введем совокупность предикторов

$$x_i^{(2)} = x_i^{(1)} - r_{j_2,i}^{(1)} \cdot x_{j_2}^{(1)} \cdot \frac{\sigma_i^{(1)}}{\sigma_{j_2}^{(1)}} \quad (i \neq j_1, j_2). \quad (13)$$

Этот процесс можно продолжать до тех пор, пока не выберется оптимальное число предикторов, которое обеспечит минимальное число ошибок разделения ситуаций. В методике, разработанной в ОРИВГМП КЦГМС-Р, просеивание предикторов для каждого предиктанта осуществляется среди первых 50-ти предикторов, упорядоченных по уменьшению величины коэффициента парной корреляции между предиктантом и предиктором. Оптимальное число предикторов определяется путем варьирования числа отобранных при просеивании предикторов. После каждого изменения числа предикторов гиперплоскость уточняется путем корректирования ее коэффициентов. В методике, разработанной в ОРИВГМП КЦГМС-Р, количество предикторов, обеспечивающих минимальное число ошибок разделения ситуаций, для различных предиктантов варьируется от 12 до 28.

2.2. Методика отбора предикторов по методу включения

Число ошибок разделения зависит не только от размерности ситуаций, но и от предикторов, входящих в описание этих ситуаций. Поэтому процесс включения предикторов следует проводить одновременно с их упорядочением.

Упорядочение предикторов по включению состоит в следующем [2]. В качестве первого предиктора выбирается тот, совокупность значений которого разделяется точкой на прямой с минимальным числом ошибок. В качестве второго предиктора выбирается тот, который вместе с первым дает минимальное число ошибок при разделении точек на плоскости. Третий предиктор выбирается из оставшихся таким образом, чтобы с первыми двумя минимизировалось число ошибок при разделении точек в трехмерном пространстве и т. д. Этот процесс продолжается до тех пор, пока включение нового предиктора будет обеспечивать уменьшение числа ошибок разделения ситуаций. После

каждого включения очередного предиктора гиперплоскость уточняется путем корректирования ее коэффициентов. В методике, разработанной в ОРивГМП КЦГМС-Р, количество предикторов, обеспечивающих минимальное число ошибок разделения ситуаций, для различных предиктантов варьируется от 4 до 11.

3. Анализ результатов авторских испытаний

Проверка разработанных в ОРивГМП КЦГМС-Р альтернативных моделей прогноза осадков проводилась с использованием независимых выборок данных приземных и аэрологических наблюдений, освещающих территорию Западной и Центральной Сибири за теплый период (апрель÷сентябрь) 1999÷2002 гг. и 2003г., полученных в срок 00СГВ.

Авторские испытания моделей были проведены в апреле÷сентябре 2004 г. В качестве предиктантов взяты вероятности выпадения осадков за полусуточные периоды для 16 метеостанций, расположенных на территории Среднесибирского УГМС. Вероятности равны 1, если прогнозируются осадки, и, соответственно, 0, если дается прогноз без осадков. Для оценки качества прогнозов в соответствии с Наставлением [6] рассчитывались следующие характеристики – оправдываемость прогнозов и предупрежденность случаев выпадения осадков. Сравнительные результаты испытаний приведены в таблицах 1 и 2.

Из таблицы 1 видно, что в целом оправдываемость прогнозов ночных полусуточных осадков по моделям прогнозов с выбором предикторов по методам просеивания (МП) и включения (МВ) выше оправдываемости прогнозов по ранее внедренной в оперативную практику модели с выбором предикторов по расстоянию Махаланобиса (ММ). В то же время оправдываемость прогнозов дневных полусуточных осадков по модели отбора предикторов по расстоянию Махаланобиса в большинстве случаев выше оправдываемости прогнозов по двум другим моделям.

Таблица 1

Оправдываемость прогнозов осадков (%), апрель-сентябрь 2004 г.

Станция	Ночь			День		
	ММ	МП	МВ	ММ	МП	МВ
Норильск	66,7	67,8	63,9	62,3	57,9	62,3
Дудинка	66,7	67,8	62,8	61,2	64,5	61,2
Игарка	64,8	61,5	65,9	66,1	55,2	62,3
Туруханск	63,9	58,5	66,1	68,3	62,8	67,2
Тура	63,4	68,9	64,5	57,9	57,9	65,0
П.Тунгуска	62,3	66,1	62,8	63,9	59,6	66,1
Енисейск	65,0	69,4	68,3	62,8	56,3	61,7
Ачинск	66,1	68,3	71,6	66,1	64,5	63,4
Красноярск	68,9	70,5	72,7	65,0	59,0	66,7
Канск	66,1	72,1	67,2	62,3	65,0	61,2
Ужур	67,0	65,9	70,3	64,6	61,9	63,5
Назарово	60,7	69,4	64,5	66,1	57,4	61,2
Шарыпово	68,9	64,5	63,4	61,7	61,2	63,9
Минусинск	60,1	62,3	68,9	62,3	62,3	66,1
Абакан	61,7	57,4	69,9	65,6	60,1	65,0
Кызыл	73,8	59,6	71,6	65,0	55,2	62,3
Средн.	65,4	65,6	67,2	63,8	60,1	63,7

Следует отметить, что в сравнении с моделью, использующей расстояние Махаланобиса, модель, использующая метод включения, показала лучшую предупреденность осадков для территорий, где осадки наблюдаются редко (как правило, это характерно для южной части территории, обслуживаемой Среднесибирским УГМС).

Отдельно необходимо сказать о качестве прогнозов сильных осадков (свыше 10,5 мм), как наиболее неблагоприятного явления. В таблице 2 приведены значения предупреденности сильных осадков (сильный дождь, 10,5÷49,4 мм) в апреле÷сентябре 2004 г.

Как видно из таблицы 2, модель с использованием отбора предикторов по методу включения позволяет более эффективно предсказывать сильные осадки.

Таблица 2

Предупрежденность сильных осадков (%), апрель-сентябрь 2004 г.

Станция	Ночь				День			
	Кол-во дней с осадками	ММ	МП	МВ	Кол-во дней с осадками	ММ	МП	МВ
Норильск	0				3	100	66,7	100
Дудинка	0				1	100	0,0	100
Игарка	1	100	0,0	100	1	100	100	100
Туруханск	0				2	100	50,0	100
Тура	0				2	50,0	50,0	50,0
П.Тунгуска	3	66,7	100	100	4	75,0	50,0	50,0
Енисейск	2	50,0	50,0	50,0	3	0,0	0,0	66,7
Ачинск	4	0,0	75,0	100	7	14,3	14,3	42,9
Красноярск	3	0,0	100	100	4	75,0	25,0	100
Канск	3	0,0	33,3	66,7	3	66,7	33,3	66,7
Ужур	3	33,3	33,3	33,3	2	50,0	50,0	100
Назарово	4	25,0	50,0	50,0	5	20,0	0,0	40,0
Шарыпово	7	42,9	28,6	71,4	4	75,0	75,0	75,0
Минусинск	0				1	0,0	0,0	100
Абакан	1	0,0	0,0	100	2	50,0	0,0	50,0
Кызыл	1	100	100	100	0			

Основываясь на результатах испытаний двух разработанных в ОРИВГМП моделей, технический семинар Красноярского ЦГМС-Р рекомендовал использовать модель с отбором предикторов по методу включения в оперативной практике при прогнозе полусуточных осадков с заблаговременностью 24÷36 час. для пунктов южной части территории, обслуживаемой СУГМС (Минусинск, Абакан, Кызыл).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Вапник В.Н., Червоненкис А.Я. Теория распознавания образов. М.: Физматгиз, 1974. 415 с.
2. Виноградова Г.М., Романов Л.Н. О линейном разделении ситуации с помощью плоских вращений // Тр. ЗапСибНИИ. 1981. Вып. 48. С. 8-16.

3. Добрышман Е.М., Тагаймурадов Ю.Т. Использование метода просеивания для анализа и прогноза поля геопотенциала над Средней Азией при холодных вторжениях // Тр. Гидрометцентра СССР. 1969. Вып. 39. С. 4-111.
4. Дуда Р., Харт П. Распознавание образов и анализ сцен. М.: Мир, 1976. 511 с.
5. Поляков Г.Г., Романов Л.Н. О разделении классов ситуаций с помощью упорядоченного перебора // Тр. ЗСРНИГМИ. 1978. Вып. 41. С.114-120.
6. РД 52.88.629-2002. Руководящий документ. Наставление по краткосрочным прогнозам погоды общего назначения. СПб.: Гидрометеиздат, 2002. 42 с.
7. Снитковский А. И. Краткосрочный прогноз // Метеорология и гидрология. 1981. № 7. С. 5-17.

О ВОЗМОЖНОЙ ПРИЧИНЕ СОВРЕМЕННОГО ПОТЕПЛЕНИЯ

Всемирная конференция по изменению климата [3] оставила открытым вопрос о причине современного потепления нижней атмосферы. Сторонники как природной изменчивости, так и антропогенного воздействия изложили свои аргументы, но к единому мнению не пришли. Призывы к необходимости рассмотрения проблемы во всей ее полноте - с учетом выбросов и стоков парниковых газов, изменчивости водяного пара как основного парникового газа, с наличием аналогичных потеплений в прошлом, ярко выраженной сезонности потепления и похолодания нижней атмосферы в 1945-1975 гг. (Израэль Ю.А. [6], Кондратьев К.Я. [8], Илларионов А.А. и др.) - не были в должной мере приняты во внимание оппонентами. Проблема соотношения природной и антропогенной компонент в современном потеплении стала ещё актуальней после ратификации Россией «Киотского протокола» в конце 2004 года.

В статье показывается существование значимой и высокой статистической связи между одним из природных факторов и температурой приземной атмосферы Северного полушария. В качестве такого первичного природного фактора выступает внешний (космический) параметр: изменения конфигураций планет Солнечной системы, которые вносят возмущения в процессы, происходящие на Солнце, и через них влияют на изменения климата Земли.

Идея о связи геофизических и других процессов с конфигурациями планет Солнечной системы имеет большую историю: от древних астрологов и египетских жрецов до современных исследователей. В 1965 году Jose P.D. [10] применил формулу (1), определяющую **центр инерции** (центр масс) системы материальных точек с массами $m_1, \dots, m_N$ и радиус-векторами $\mathbf{X}_1, \dots, \mathbf{X}_N$, к системе, состоящей из Солнца и четырех тяжелых планет Солнечной системы

$$\sum_{k=1}^N m_k^* \mathbf{X}_k = 0 \quad , \quad (1)$$

где относительные массы определяются как $m_k^* = m_k / \sum_1^N m_j$.

Применяя формулу (1) к системе из Солнца и 9 планет, с индексами от 0 до 9, соответственно, найдем **смещение** центра масс Солнца от центра инерции Солнечной системы на момент времени t в виде вектора

$$\mathbf{X}_0(t) = -\sum_1^9 m_k^* \mathbf{X}_k(t) / m_0^* = -\sum_1^9 m_k^0 \mathbf{X}_k(t) \quad , \quad (2)$$

где m_0^* - относительная масса Солнца, m_k^0 - масса k -ой планеты относительно массы Солнца. Начала радиус-векторов в (2) находятся в центре инерции Солнечной системы, а не в центре масс Солнца. Пусть $\mathbf{R}_k$ - вектор от центра масс Солнца до k -ой планеты, тогда, заменяя в (2) $\mathbf{X}_k = \mathbf{R}_k + \mathbf{X}_0$, после простых преобразований получим:

$$\mathbf{X}_0(t) = -\sum_1^9 m_k^* \mathbf{R}_k(t) \quad . \quad (3)$$

Влияние параметра (3) и его производных (скорость, ускорение и др.) на солнечную активность изложено в монографии [2].

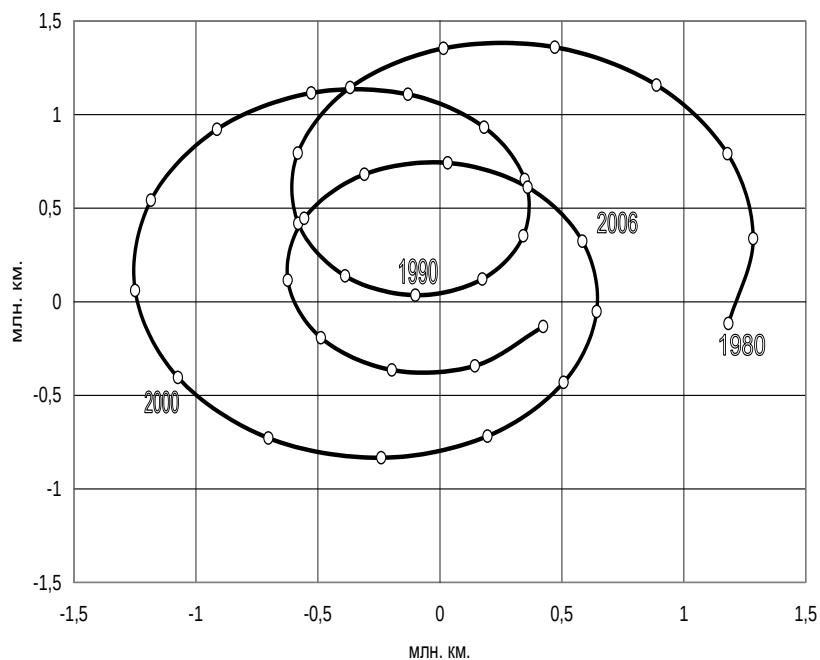
Авторы [7] предприняли попытку учесть влияние смещения на изменения солнечной постоянной и через нее на температуру атмосферы Земли. Фактически они предположили, что фокус земной орбиты будет находиться в центре инерции Солнечной системы, а не в центре Солнца. Поэтому должны возникнуть аномалии расстояния Земля-Солнце, которые и приведут к изменениям солнечной постоянной. Эти аномалии расстояния относительно кеплеровской орбиты авторы называли дисимметрией Солнца, которая, следуя их определению, должна вычисляться на момент времени t по формуле:

$$\Delta L(t) = |\mathbf{X}_3(t)| - |\mathbf{R}_3(t)| \quad . \quad (4)$$

На рисунке 1 представлены смещение и дисимметрия Солнца, найденные по формулам (3) и (4), соответственно. На рисунке 1,а центр инерции Солнечной системы находится в начале координат, а ось абсцисс направлена в точку весеннего равноденствия. Кружки на рисунке показывают конец вектора смещения на 1 января

каждого года. Как видно из графика, смещение может достигать почти 1,5 млн. км, что несколько больше диаметра Солнца.

а)



б)

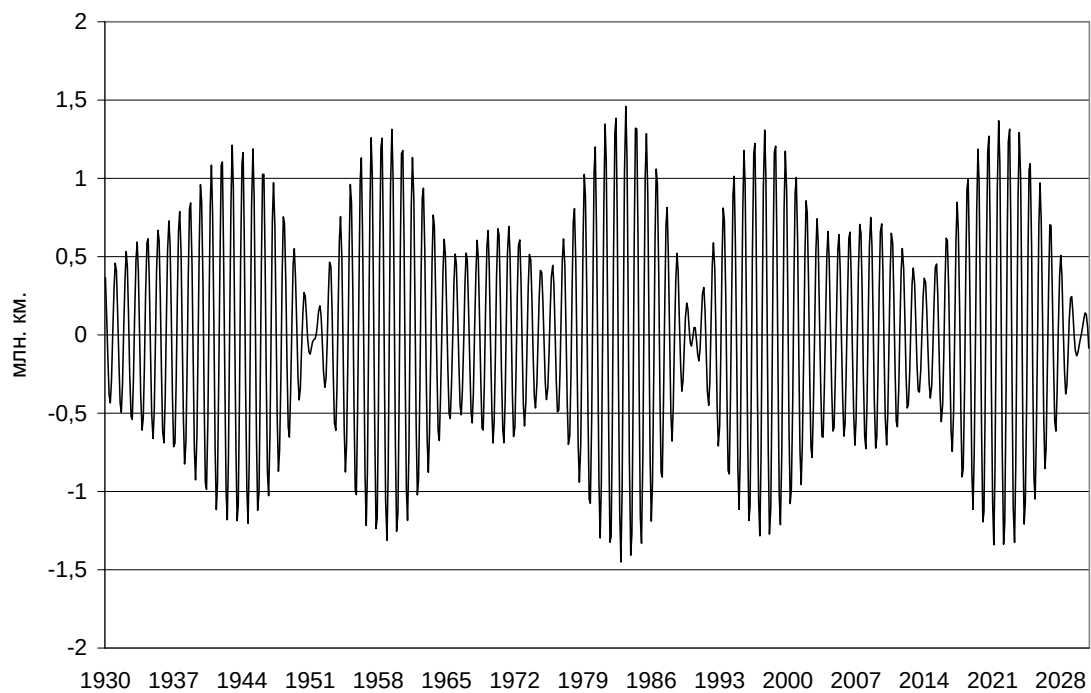


Рисунок 1. Расчетная траектория вектора смещения Солнца от центра инерции Солнечной системы (а) и изменчивость дисимметрии Солнца (б).

Характерная петля с вершиной в 1991 году, которую сделало Солнце относительно центра инерции, имеет наиболее близкий аналог 179 лет назад (вершина петли в 1812 году). Следующую аналогичную петлю Солнце сделает также через 179 лет (вершина петли в 2170 году). Делая такие петли, Солнце находится в верхней полуплоскости, соответствующей холодному полугодю Земли, в 3 раза дольше, чем обычно. Отличие современной петли в том, что ее ось,- линия от точки «1991» к точке «1986»,- расположена ближе к перигелию Земли, чем у предшествующей и последующей петли. Иными словами, современный геофизический эффект от смещения должен быть максимальным.

Теоретически, если фокус орбиты Земли находится в центре инерции Солнечной системы, то и дисимметрия также достигнет 1,5 млн. км., что, в свою очередь, приведет к изменению солнечной постоянной до $\pm 2\%$. Так ли это?

На рисунке 2 представлены графики расчетных и фактических измерений среднесуточных значений интегрального потока солнечной радиации (TSI) американским спутником в рамках программы NASA “Solar Radiation and Climate Experiment” (SORCE), за период с 2 марта 2003 г. по 31 октября 2005 г. (http://lasp.colorado.edu/sorce/tsi_data/daily). Из рисунка 2,а видно, что отклонения TSI, вызванные дисимметрией, от значений на кеплеровской орбите, должны были в рассматриваемый период достигать $\pm 12 \text{ Вт/м}^2$, а измеренные отклонения на рисунке 2,б укладываются, за редкими исключениями, в $\pm 1 \text{ Вт/м}^2$. Но эти небольшие отклонения, как видно из рисунка 2,б, похоже, содержат компоненту, пропорциональную дисимметрии, хотя она, по крайней мере, раз в 15 меньше значений TSI по теории [7], и, следовательно, дисимметрия будет в 4 раза меньше ожидаемых значений. Кроме того, реакция TSI на дисимметрию запаздывает примерно на 40 суток, что теоретически можно объяснить неточностью, которую мы допускаем, заменяя в (3) истинные, но нам неизвестные, расстояния от планет до Солнца их оценками по кеплеровской модели.

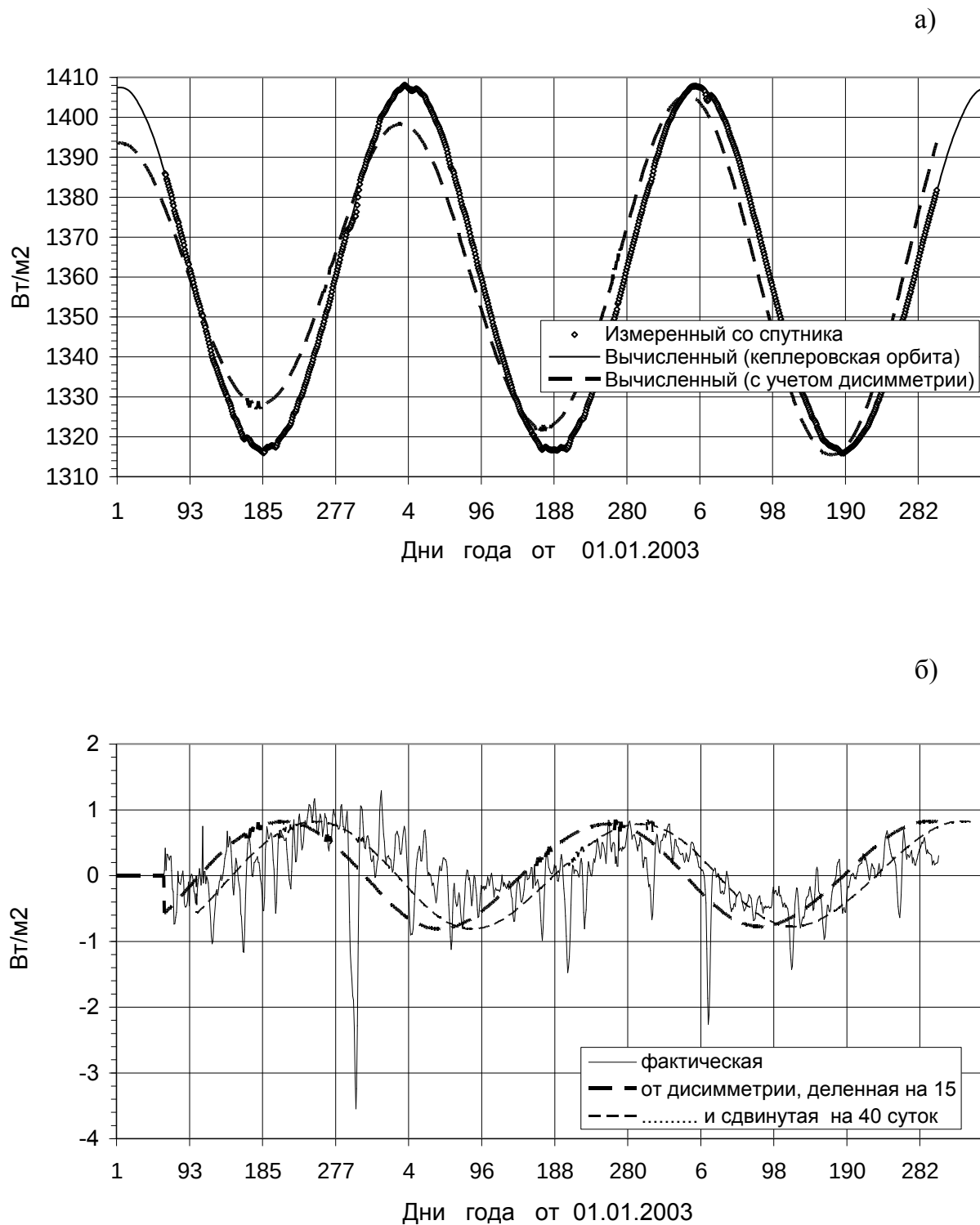


Рисунок 2. Среднесуточные значения TSI, измеренные вне атмосферы Земли и вычисленные с учетом дисимметрии: (а) – абсолютные значения, (б) – аномалии.

В работе [5] была проведена проверка связи дисимметрии с приземной температурой воздуха по синоптическим районам Северного полушария. Рассмотрим этот вопрос более подробно. Исходными данными явились ряды среднемесячных температур воздуха по сети станций Северного полушария за период 1881-1975 гг., взятые из архивов данных «TEMZAR» и «АНОМАЛ» ВНИИГМИ-МЦД. В расчетах учитывались только те метеостанции, по которым имелись данные более, чем за 30-летний период. Для k -го года ($k=1881, \dots, 1975$) находилась дисимметрия ΔL_k на 15 января и вычислялась средняя температура зимы, соответствующая этой дисимметрии, по формуле

$$T_k = (31 T_k(\text{дек}) + 31 T_k(\text{янв}) + 28 T_k(\text{фев}))/90 \quad (5)$$

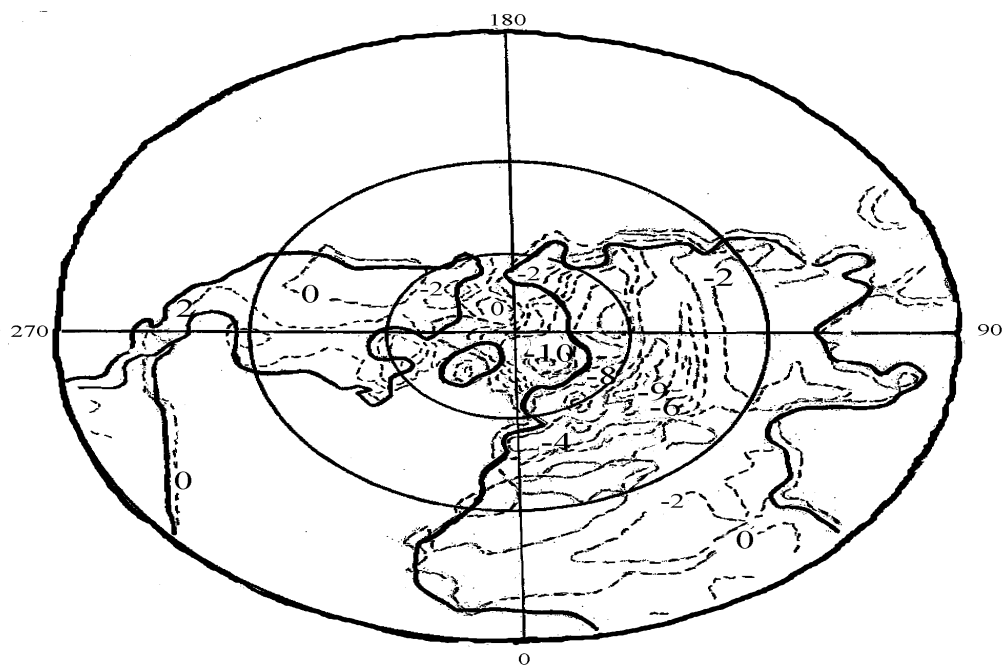
Ряд (5) был разделен на 3 ряда, исходя из значений дисимметрии: в ряд «А» вошли те годы, для которых $\Delta L_k > 0,5$ млн. км.; в ряд «В» вошли годы с $\Delta L_k < -0,5$ млн. км.; в ряд «С» – остальные. Затем для каждой станции в отдельности вычислялась разница средних температур ΔT по рядам «А» и «В» (T_A , T_B , соответственно) и критерий Стьюдента этой разницы:

$$\Delta T = T_A - T_B .$$

На рисунке 3а символами «+» представлены станции с положительными значениями ΔT и символами «-» - с отрицательными. Значимые на 5% уровне точки представлены черным цветом, а незначимые – серым.

Наибольшие значения разности температур, как видно из рисунка, приходятся на средние широты Евразии, и почти не проявляются в Северной Америке и Африке. Возникает задача: как отреагирует приземная температура воздуха Северного полушария на изменение TSI ? Решение поставленной задачи было найдено специалистами ГГО, которые построили модель и провели эксперименты с вариациями TSI [1]. На рисунке 3б. представлен результат, который авторы по нашей просьбе вычислили для января месяца с уменьшением TSI на 5% .

а)



б)

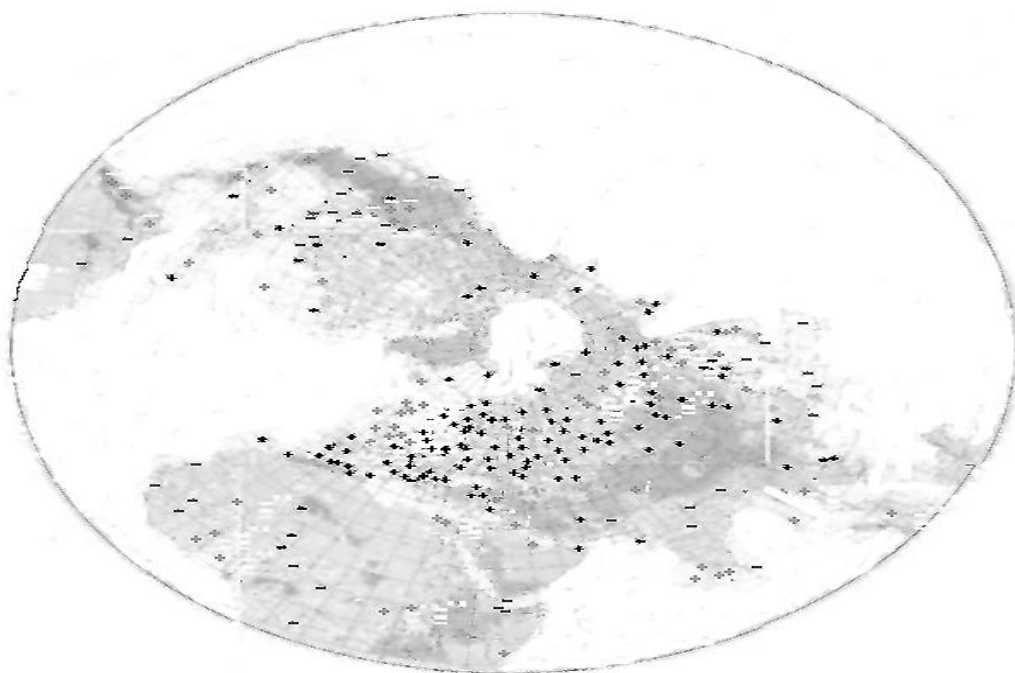


Рисунок 3. Изменение зимней приземной температуры воздуха:
а) теоретическое при уменьшении TSI на 5% для января,
б) фактическое зимнее при учете дисимметрии Солнца.

Видно качественное соответствие фактической и модельной карты (знаки на картах противоположные по определению), за исключением локального максимума в районе Карского моря. Численные значения естественно различаются, так как дисимметрия даже теоретически не дает изменений TSI более, чем на 2%, а фактически, как было показано ранее, она на порядок меньше.

Но соответствие все же есть, и здесь возникает предположение, что дело не столько в дисимметрии, сколько в другом факторе, также связанном со смещением Солнца от центра инерции. Таким фактором, например, может быть изменение оптических свойств атмосферы, вызванное химическими реакциями в верхних слоях под воздействием солнечных протонных потоков [9], которые, в свою очередь, могут зависеть от смещения. Возможны и другие варианты.

Карты на рисунке 3 дают представление о пространственном эффекте изменений приземной температуры воздуха в связи с изменчивостью вектора смещения Солнца и, как следствие, - с изменчивостью дисимметрии. Рассмотрим теперь временной аспект, взяв за основу регион на юге Западной Сибири, где, как мы видели, особенно четко проявляется эффект смещения. Вычислим для каждого года за период 1901-2005 гг. средние значения из 5 рядов январских температур воздуха по метеостанциям Омск, Барабинск, Новосибирск, Томск, Барнаул. Преобразуем данный ряд в накопленную сумму аномалий, взяв за «норму» среднее за период 1901-1985 гг., то есть до начала современного потепления атмосферы, и отфильтруем из него высокочастотные колебания скользящей средней по 3 точкам. Полученный ряд представлен на рисунке 4. Там же приводится ряд, пропорциональный накопленным суммам ординат смещения (направление оси ординат на 2 десятка градусов меньше долготы Земли на середину января).

Как видно из рисунка 4, рассматриваемые процессы имеют сходные черты: синхронный подъем графиков, точка перегиба в 1990 году, близкие локальные экстремумы, коэффициент корреляции по Спирмену, равный 0,7. Однако есть и различия.

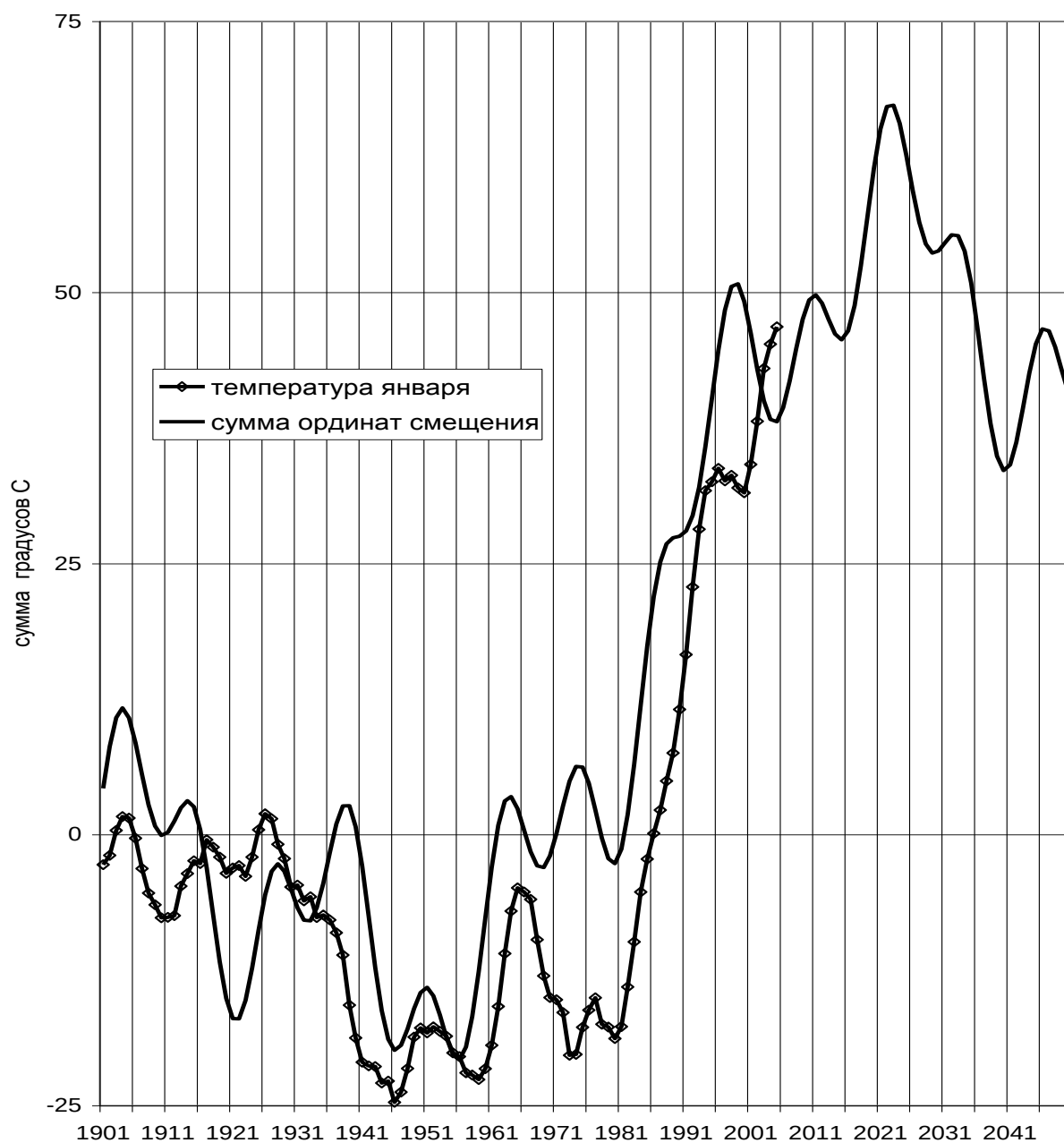


Рисунок 4. Суммы аномалий январской температуры воздуха по югу Западной Сибири и их оценка суммами ординат смещения Солнца от центра инерции Солнечной системы.

Расхождения, особенно подъём температуры в 2001-2005 гг., можно объяснить для Западной Сибири задержкой на несколько лет отклика от гидросферы на изменчивость

солнечной радиации, а также тем очевидным фактом, что смещение Солнца - не единственный параметр, определяющий изменчивость температуры нижней атмосферы.

Продолжение графика на рисунке 4 дает перспективную оценку изменений температуры для юга Западной Сибири. Как видно из рисунка, после теплого периода 2006-2011 гг. ожидается более прохладный период в 2012-2017 гг. Кстати, именно этот период указан в известном научном пари между английским климатологом и специалистами института СЗФ СО РАН (г. Иркутск), заключенном в 2005 году («The Guardian», 19.08.2005). Далее, после теплого периода в 2018-2023 гг. виден переход к длительному периоду похолодания.

Основные результаты статьи были представлены на Международной конференции по солнечно-земной физике [10] (Иркутск, сентябрь 2004 г.) и доложены на конференции «Глобальные изменения климата и проблемы гидрометеорологии Якутии» (Якутск, апрель 2005 г.).

Выводы

1. По данным измерений TSI спутником по программе SORCE величина дисимметрии Солнца в 2003-2005 гг., как минимум, в 4 раза меньше теоретической, а соответствующие изменения TSI на порядок меньше ожидаемых.

2. Существует значительная статистическая связь между смещением Солнца от центра инерции Солнечной системы и изменчивостью температуры приземной атмосферы, как в пространственном, так и во временном разрезах.

3. В период 1981-1998 гг. вектор смещения Солнца от центра инерции Солнечной системы находился в полуплоскости, соответствующей холодному периоду года, в 3 раза дольше обычного из-за редкой конфигурации планет (179-летний цикл), сложившейся к началу 80-х годов XX века. Он достигал предельных по своему модулю значений и был близок к перигелию Земли несколько лет подряд, что, возможно, и явилось основной причиной мощного зимнего потепления в 1983-1997 гг.

4. Актуальная проблема - установление причинно-следственной связи между смещением Солнца от центра инерции Солнечной системы и изменчивостью температуры нижней атмосферы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Борисенков Е.П., Ефимова Л.К., Шнееров Б.Е. О возможном влиянии гелио-геофизических факторов на климатический режим атмосферы // Сборник научных трудов СО ВАСХНИЛ. Новосибирск. 1985. С. 74-77.
2. Войчишин К.С., Драган Я.П., Куксенко В.И., и др. Информационные связи био-гелио-геофизических явлений и элементы их прогноза. Киев:Наукова думка, 1974. 208с.
3. Всемирная конференция по изменению климата. Тезисы докладов. Москва, 29 сентября–3 октября 2003 г. 700 стр.
4. Завалишин Н.Н. О геофизических эффектах дисимметрии Солнечной системы // Солнечно-земная физика.-2005. Вып. 8 с.185-186.
5. Завалишин Н.Н., Виноградова Г.М. О связи аномалий месячных температур воздуха с циклом Хейла и динамикой расстояния Солнце-Земля // Труды СибНИГМИ. 1990. Вып.93. С.25-32.
6. Израэль Ю.А. О концепции опасного антропогенного воздействия на климатическую систему и возможности биосферы // Метеорология и гидрология. 2004. №. С.30-37.
7. Коваленко В.Д., Кизим Л.Д., Пашестюк А.М. Анализ вариаций погоды и климата // Сборник научных трудов СО ВАСХНИЛ. Новосибирск. 1987. С.103.
8. Кондратьев К.Я. Неопределенности данных наблюдений и численного моделирования климата // Метеорология и гидрология. 2004. №4. С.93-119.
9. Пудовкин М.И., Распопов О.М. Механизм воздействия солнечной активности на состояние нижней атмосферы и метеопараметры (Обзор)// Геомагнетизм и аэрномия. 1992. Т.32. №5.
10. Jose P.D. Sun`s motion and sunspots // The Astronomical Journal, 1965. Vol.70. N3. P.193-200.

М.Я. Здерева, Г.П. Торубарова, Г.А. Шустова

ФИЗИКО-СТАТИСТИЧЕСКАЯ СХЕМА ПРОГНОЗА ЭКСТРЕМАЛЬНОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУХА ПО ПУНКТАМ НОВОСИБИРСКОЙ ОБЛАСТИ НА 1-5 СУТОК

В настоящий период времени в Западно-Сибирском региональном вычислительном центре (ЗапСибРВЦ) оперативно рассчитываются прогнозы экстремальной температуры воздуха на 1-6 суток по 43 пунктам Урало-Сибирского региона. Действующая схема разработана в СибНИГМИ в начале 80-х годов прошлого века под руководством И.Г.Храмцовой. В 1985 г. она была внедрена в оперативную практику в качестве основного расчетного метода. С добавлением объективных схем получения прогнозов других метеозадаваемых в ЗапСибРВЦ образован расчетный комплекс среднесрочных прогнозов погоды. Этапы получения и распространения выходной продукции объединены в технологическую линию, которая трансформировалась параллельно с развитием парка вычислительных машин в центре. В 2002 году основные расчетные модули переведены на ЭВМ CRAY-EL. Эти изменения не затронули методических алгоритмов прогнозов.

В основу оперативного метода положена объективная интерпретация продукции гидродинамических моделей атмосферы: осуществляется расчет синхронных статистических связей между прогностическими полями, полученными по гидродинамической схеме ЕЦСПП с разрешением $5^{\circ} \times 5^{\circ}$, и элементами погоды. Тем временем с конца прошлого века в мировых центрах погоды интенсифицируются работы по гидродинамическому моделированию атмосферы. Усилия ученых направлены как на повышение качества прогностической продукции, так и на расширение списка выходных элементов параллельно с уменьшением пространственного и временного разрешения. В результате этих работ в международной сети обмена метеорологической информацией появляются новые виды выходной продукции гидродинамических моделей из ведущих центров погоды. Уменьшение модельного шага по пространству

дает возможность для увеличения пространственной детализации и в физико-статистических схемах.

Целью данного исследования является разработка метода прогноза экстремальной температуры воздуха, детализированного по 30 пунктам Новосибирской области (НСО). Оценить относительное качество вновь разработанного метода позволит сравнение прогнозов по 6 пунктам НСО, по которым производятся расчеты по оперативно действующей схеме. Идеологический подход к новому методу аналогичен разработанному, поэтому интерес представляют их различия.

Важным звеном в работе системы статистической интерпретации является создание базы данных. Следует отметить, что исследователи данного направления в СибНИГМИ традиционно используют преимущества концепции "РР" - "идеального прогноза", производя обучение схем на фактическом материале. В региональном методе в качестве основной базы данных выступает архив фактических значений температур у земли и на АТ-850, давления у земли, геопотенциала, скорости и направления ветра на конкретно заданных станциях региона за фиксированный 10-летний период с 1971 по 1980 гг. Для его создания требовался энергоемкий ручной труд нескольких сотрудников, он включал снятие данных с исходного материала (таблиц ТМ-1, синоптических карт и т.д.), ввод их с помощью перфорирующих устройств, ручную корректировку перфокарт и т.д. В настоящее время технология создания архивов кардинально изменилась и представляет из себя автоматический выбор и накопление данных, передаваемых по метеорологической сети согласно расписанию. Для этого достаточно написать лишь несколько управляющих программ для чтения, раскодировки и выборки необходимых параметров для заданной территории.

Для нового метода архив состоит из данных объективного анализа полей приземного давления, геопотенциала на АТ-500 и температуры воздуха на АТ-850 за 00 и 12 ч, поступающих из центров Брекнелл и ЕЦСПП. Для левой части будущих уравнений накапливаются синхронные этим полям значения минимальной и максимальной температур воздуха, фактически наблюдаемых на станциях НСО. Архив циклически пополняется свежими ежедневными данными, и его длина составляет пять последних лет.

Необходимым элементом при автоматическом создании архивов является наличие алгоритмов для контроля и исправления поступающей информации. В нашем случае для полей с объективным анализом установлена проверка на "отсутствие информации" и отбраковка неполных данных. Для экстремальных температур контроль имеет два этапа. На первом выявляются грубые ошибки путем сравнительного анализа температур по срочным измерениям. На втором используется алгоритм восстановления отсутствующих данных, основанный на подборе аналогичных температурных полей.

Следующий этап разработки метода: формирование статистических обучающих выборок. Как правило, разными исследователями первоначально учитывается сезонная классификация атмосферных процессов. При этом принципы выбора привлекающихся к расчету дат в основном определяются длиной базового архива. В оперативной схеме СибНИГМИ расчеты строятся на данных текущего календарного месяца за десять лет [3]. При переходе даты через начало месяца иногда происходят скачкообразные изменения в значениях предиктанта, вызванные заменой коэффициентов в уравнениях регрессии. Этот недостаток устранен в схемах Российского Гидрометцентра (ГМЦ РФ) и Хабаровского УГМС, где коэффициенты рабочих уравнений определяются с учетом текущих синоптических ситуаций, а расчетный период определяется по числу дней, равномерно удаленных от исходного дня прогноза. В схеме ГМЦ РФ он составляет 90 дней (архив пять лет) [1], а в Хабаровской - 15 дней (архив 10 лет) [2]. Однако и этот подход недостаточно полно учитывает сезонный фактор в формировании погоды. В предлагаемой схеме прогноза по районам Новосибирской области в основе формирования расчетного периода лежит учет годового хода температуры. В выборку входят даты, для которых средняя многолетняя температура воздуха отличается не более чем на 5°C от средней многолетней исходного дня в текущем сезоне. Таким образом, длина рабочей выборки в новой схеме зависит от сезона. В отдельные дни переходных периодов она сокращается до 150 ситуаций, а в серединах летнего или зимнего сезонов достигает 660 случаев.

Опыт разработок статистических схем интерпретации модельных прогнозов показывает, что учета одного сезонного фактора недостаточно. Для повышения репрезентативности обучающих выборок требуется подбор в них ситуаций,

приближенных к исходной. Так, в схеме для Хабаровского края разработан алгоритм предварительного разделения воздушных масс по типу их теплосодержания [2]. Большинство же исследователей используют для этой цели отбор по методу аналогов. При этом важно определить эффективные размеры рассматриваемой территории. В нашем случае анализируемая область распространяется примерно по 600 км в меридиональном направлении и по 1000 км - в широтном по обе стороны от центра Новосибирской области. Критерий Махаланобиса рассчитывается по центрированным полям геопотенциала на АТ-500 (H_{500}), давления у земли (P_0), и температуры на АТ-850 (T_{850}).

Для получения прогностических значений температур применяется регрессионный анализ. Как правило, из физических соображений и из наличия базовой информации предварительно осуществляется подбор параметров, выступающих в качестве потенциальных предикторов. Модельная продукция на заблаговременности прогнозов свыше 60 ч ограничивает исходный список тремя элементами (H_{500} , P_0 , T_{850}), поэтому во всех физико-статистических схемах используются их производные. В нашем случае дополнительно получают градиенты всех элементов по всем направлениям, их лапласианы и суточные изменения. Параметры рассчитываются в каждом узле или квадрате широтно-долготной сетки ($2,5^\circ \times 2,5^\circ$), по территории, ограничивающей Новосибирскую область и прилегающие по периметру районы соседних областей. В список потенциальных предикторов входит также исходная экстремальная температура воздуха на каждой станции ($T_{исх}$), при этом на первые сутки используется фактически наблюдаемое значение, а на последующие - расчетное на предыдущий к расчету день. Ранжированный список информативных параметров для разных ситуаций определен с помощью предварительного корреляционного анализа.

Существенное различие действующая и вновь разработанная схемы имеют на этапе построения прогностических уравнений. В региональной схеме набор предикторов и их коэффициентов фиксирован для каждой станции и для каждого месяца [3]. Метод для Новосибирской области настроен на учет особенностей в ожидаемой синоптической ситуации. Построение прогностических уравнений производится на каждый срок для каждой станции заново, рабочая выборка при этом создается описанным выше подбором

ситуаций, аналогичных текущей. Кроме того, список участвующих в уравнении предикторов меняется в зависимости от синоптического процесса. Так, например, лучший в среднем по коэффициентам корреляции предиктор - $T_{исх}$ вносит отрицательный вклад в расчет предиктанта при значительных изменениях температуры воздуха. В новой схеме такие ситуации определяются косвенно по величине амплитуды ожидаемых суточных изменений базовых элементов. Учет второго по значимости предсказателя – T_{850} в случаях формирования инверсий приведет к серьезным ошибкам в прогнозах приземной температуры. Благоприятные условия для образования инверсий определяются через значения градиентов и лапласианов давления у земли и их суточных изменений. Таким образом, для формирования списка предикторов, адаптированного к ожидаемой ситуации, применяются эмпирически разработанные логические правила.

Созданный расчетный модуль вставлен в оперативную технологическую линию получения объективных среднесрочных прогнозов погоды. Исходная информация из базы ГИС МЕТЕО на персональных компьютерах формируется в файлы, параллельно проходя первичный контроль, и по локальной сети передается на две расчетные ветки - на ПК с системой Linux и на CRAY-EL с системой Unicos. Дублированный расчет призван исключить ситуации неполучения прогнозов по техническим причинам. Выходная продукция оформляется в таблицы и вновь попадает в локальную сеть, откуда по желанию пользователей распечатывается.

Авторские испытания метода проводились на материале 2003 г., а оперативные - 2004 г. За период последнего испытания было оценено 240 прогнозов по 30 районам на 1-5 суток. Более успешными оказались прогнозы для юго-западного сектора области, тогда как для северо-западного, напротив, оценки ниже. Разница в оценках оправдываемости прогнозов на первые сутки по оперативному (синоптическому) и проверяемому методам оказалась несущественной, для северо-восточных пунктов на 1-2% лучше методические, для остальной территории - синоптические. Сравнение с региональным методом по шести совпадающим станциям показало устойчивое превышение оценок предыдущего метода в прогнозах максимальной температуры, для минимальной температуры испытываемый метод более точен на первые двое суток. При переходе заблаговременности на 72 ч в оправдываемости нового метода происходит

понижающий скачок. Этому факту находится следующее объяснение: при прогнозировании на ближайшие 60 ч в качестве базовой используется информация из Лондона, которая содержит модельные прогнозы с более подробной детализацией по времени (на каждые 6 ч до 48 ч, далее - через 12 ч), то есть для прогнозов как на ночь, так и на день мы имеем возможность соблюдать полную синхронность в обеих частях решающих уравнений. На дальнейшие периоды времени (до 168 ч) имеющаяся информация представляет синоптическую ситуацию с суточным разрешением на 12 ч по Гринвичу, то есть на конец дня в наших широтах, что приводит к асинхронным, менее точным связям.

Интерес представляло сравнение результатов с прогнозами по физико-статистической схеме Гидрометцентра РФ, помещаемыми в сеть интернет. Данная схема выдает продукцию по всем станциям наблюдения в России и по некоторым в Европе. Анализ оценок показал, что на фоне примерно одинаковой средней успешности прогнозов максимальной температуры (62%) на первые двое суток качество московских прогнозов лучше на 4-5%. При прогнозировании минимальной температуры преимущество на все сроки показала новая схема СибНИГМИ.

По результатам оперативных испытаний принято решение использовать разработанный метод в оперативной практике синоптиков в качестве вспомогательного.

Перспективы для повышения уровня созданной схемы имеются. Для достижения этой цели в настоящее время продолжают работы по следующим направлениям:

- дальнейшее накопление информационной базы, увеличение периода архивов до семи-восьми лет, что должно повысить устойчивость уравнений;
- включение в схему модельных прогнозов атмосферы с разрешением не более 12 ч на пять суток вперед по мере их появления;
- проведение дополнительных исследований и создание отдельного блока для прогноза значительных изменений температур, что наиболее актуально для сильных похолоданий.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Васильев П.П., Васильева Е.Л. Система статистической интерпретации выходной продукции гидродинамических моделей для среднесрочного прогноза погоды //70 лет Гидрометцентру России. С-Пб: Гидрометиздат, 1999. С.118-133.
2. Вербицкая Е.М. Среднесрочный прогноз элементов и явлений погоды для станций Дальневосточного региона России // Труды ДВНИГМИ. 2002. Вып.149. С.175.
3. Храмцова И.Г., Шустова Г.А. Схема прогноза температуры воздуха у земли на пять суток для районов Сибири // Труды ЗапСибНИИ Госкомгидромета. 1986. Вып. 79. С.10-22.

О ВОССТАНОВЛЕНИИ ПРОПУСКОВ В МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ПОЛЯХ

Введение.

Всякое использование прогностических моделей непременно предполагает наличие данных, обладающих той или иной степенью регулярности. Под регулярностью здесь понимается не только регулярное поступление информации во времени, но и полнота ее в каждом поступающем временном слое. Если в каком-нибудь временном слое (совокупность синхронных наблюдений) используемого временного ряда имеются пропуски данных, то они должны быть восстановлены, причем для этого должны быть использованы методы нелинейного, или кусочно-линейного восстановления, поскольку пространственные зависимости в данном случае носят нелинейный характер. Если отсутствует много данных в одном временном слое, или отсутствует целиком временной слой, то для восстановления необходимо использовать асинхронные связи, что существенно усложняет модель восстановления.

Условия, при которых может потребоваться восстановление пропусков в данных, могут оказаться самыми разнообразными, поэтому возникает необходимость создания некоторого универсального подхода для восстановления таких пропусков. С другой стороны, чрезмерная универсализация неизбежно приведет к созданию модели, которая будет чрезмерно громоздкой и не всегда оптимальной в конкретных ситуациях. Поэтому в настоящей работе будет рассмотрен ряд моделей восстановления, объединенных некоторым общим подходом, и которые в то же время могут применяться в тех или иных конкретных условиях.

Предположим, что поле y представлено некоторыми его значениями $y_1, \dots, y_N$ в точках $x_1, \dots, x_N$. Тогда, аппроксимируя это поле с помощью функции $y = f(x)$, будем

иметь возможность получать значения y_i в любой точке x_i из области Ω , в частности, в тех точках, в которых данные измерений отсутствуют.

В простейшем случае вектор x может представлять две координаты в географическом пространстве. Если в данных присутствуют результаты радиозондирования атмосферы, то x будет состоять из трех координат. В общем случае вектор x может включать в себя также и другие метеорологические элементы, для которых не требуется восстановление, но которые могут представлять важную информацию для восстанавливаемого поля.

Функция f может также зависеть от времени $y = f(x(t))$, где t – время из интервала предполагаемой временной зависимости полей. Однако в этом случае для определения функциональной зависимости потребуется намного больше данных, поскольку будет восстанавливаться не метеорологическое поле, а процесс.

Постановка задачи и метод решения.

В общем случае задача определения непрерывной функции по некоторым ее выборочным значениям может быть сформулирована следующим образом.

Пусть имеется выборка ситуаций $x_1, \dots, x_N$, каждая из которых состоит из n параметров $x_i = (x_i^1, \dots, x_i^n)$ и заданы значения функции $y_1, \dots, y_N$, соответствующие этой выборке. По этим данным требуется построить функцию,

$$y = f(x^{k_1}, \dots, x^{k_m}) \quad , \quad (1)$$

обладающую по отношению к исходной выборке некоторыми оптимальными свойствами. Новая функция f может иметь число независимых переменных, меньшее или равное числу компонентов вектора x , т. е., $n \geq m$.

Если бы распределения вероятностей $P(x)$ и $P(y/x)$, в соответствии с которыми по предположению должны быть получены исходные ситуации, были бы известны, то критерий построения (1) должен был бы состоять в минимизации функционала

$$\int (y - f(x))^2 P(y/x) P(x) dx dy, \quad (2)$$

представляющего собой средний риск, или среднюю ошибку восстановления $f(x)$ на независимом материале. Но поскольку $P(y/x)$ и $P(x)$ на практике не известны, построение $f(x)$ приходится осуществлять лишь путем минимизации оценок (2), исходя из заданной выборки.

В настоящей работе для восстановления пропусков в данных используется оценка

$$\sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left(\frac{y_i - a_i B^{-1} A^T Y}{1 - a_i B^{-1} a_i^T - \frac{1}{N}} \right)^2}, \quad (3)$$

представляющая собой ошибку скользящего контроля, состоящего в последовательном исключении ситуаций из выборки и построении неизвестной функции на остающихся ситуациях. При этом суммирование ошибок восстановления всех последовательно исключенных ситуаций позволяет по заданной выборке получить оценку (3). Здесь A – матрица исходных ситуаций

$$A = \begin{bmatrix} a_1^1 & \dots & a_1^n \\ \vdots & & \vdots \\ a_N^1 & \dots & a_N^n \end{bmatrix}, \quad Y = \begin{pmatrix} y_1 \\ \vdots \\ y_N \end{pmatrix},$$

Y – вектор известных значений восстанавливаемой функции, и B – матрица ковариаций $(n \times n)$, оцененная по всем ситуациям выборки.

Такая оценка была получена в предположении линейности аппроксимирующей функции [1]. Однако в сочетании с методами быстрого упорядочения множеств [2], функционал (3) может быть использован для аппроксимации с помощью широкого класса нелинейных функций, как это, например, представлено в работе [3].

Аппроксимация полиномом.

В частном случае путем минимизации (3) может решаться задача приближения метеорологических полей полиномами подходящей степени. Для этой цели матрица A преобразуется в матрицу M , строками которой становятся все возможные одночлены полинома заранее взятой достаточно высокой степени. Таким образом, после полиномиального преобразования матрицы A преобладание числа строк над числом столбцов меняется на обратное, при общем сохранении числа строк в обеих матрицах.

Таким образом, если A есть исходная матрица $(N \times n)$, то после преобразования A будем иметь матрицу $M(N \times p)$:

$$M = F(A), \quad (4)$$

в которой каждая строка представляет собой полный набор p одночленов (мономов) полинома, взятого от исходных параметров.

При преобразовании исходной матрицы A в матрицу M неизбежно возникают трудности при вычислении мономов высоких степеней. Такие трудности могут быть в значительной степени преодолены путем двойного нормирования параметров, позволяющего избежать операций с большими числами. При этом нормировка параметров (приведение параметров к единичной дисперсии) проводится первый раз до преобразования (4), второй, - после. Кроме того, чтобы избежать смещения оценки при аппроксимации, требуется преобразование центрирования параметров, или приведение их среднего выборочного значения к нулю. Такую операцию необходимо проводить не только для столбцов A , но и для известных значений функции (компонентов вектора Y).

Будем называть в дальнейшем полиномиальное преобразование (4) F – преобразованием, и для простоты обозначений будем предполагать, что операции центрирования и нормирования уже включены в это F – преобразование. Тогда весь процесс построения функции, аппроксимирующей какое-нибудь поле, будет состоять из двух этапов:

- а) полиномиальное преобразование матрицы A , или F – преобразование,
- б) минимизация функционала (4) по всем совокупностям преобразованных параметров.

Оперативное восстановление данных.

В случае, когда восстановлению подлежит некоторая точка двумерного метеорологического поля, матрица A будет представлять собой матрицу $(N \times 2)$, а вектор Y - значения метеорологического элемента на станциях, где пропусков нет.

Используя описанный выше подход, можно осуществить F – преобразование матрицы A и путем минимизации (3) построить полином от двух переменных

$$y = f(x^1, x^2),$$

с помощью которого можно восстановить поле в точках, в которых оно никак не представлено. При этом, степень полинома, а также состав его одночленов будут определены в процессе его построения.

В случае трехмерных полей будем иметь матрицу A , состоящую из трех столбцов, и построению будет подлежать полином от трех переменных.

Если восстановлению подлежат точки двух пространственных метеорологических полей (например, давления и температуры), то в этом случае матрица A может состоять из четырех столбцов и полином будет браться от четырех переменных. При этом, если пропуски имеются только в одном из полей, второе поле, тем не менее, может участвовать в построении аппроксимирующего полинома, но даст ли это участие положительный эффект, определит критерий минимума среднего риска.

Если в совокупность информативных одночленов отберутся только содержащие координаты станций, то участие второго поля в построении f не требуется.

На самом деле, исходя из системы примитивных уравнений мы знаем, что атмосферные параметры связаны между собой функционально, и поэтому, чем полнее будет представлена исходная информация, тем большей надежностью должны обладать восстановленные данные.

В случае если в двух, или даже в трех, исходных полях имеются пропуски в данных, возникает вопрос, какое из полей следует восстанавливать в первую очередь. Очевидно, при прочих равных условиях, восстановление пропусков следует начинать с поля, обладающего наибольшей “гладкостью” как по пространству, так и по времени. Таким полем, прежде всего, является атмосферное давление. Поля влажности и осадков в этом смысле можно отнести к самым последним, поскольку такие поля и непрерывными называть можно лишь со значительной степенью условности. Однако, если в каком-либо из полей пропусков существенно меньше чем в других, то такое поле разумно восстанавливать в первую очередь.

Для обогащения модели оперативного восстановления данных, в исходную матрицу A могут быть также включены средние по времени значения восстанавливаемого метеорологического элемента. Число столбцов A , таким образом, увеличится еще на единицу. При этом добавленный столбец позволит сделать качество восстановления во всех случаях не хуже (в смысле минимума оценки среднего риска), чем качество восстановления пропусков по среднему многолетнему значению.

Восстановление по асинхронным данным.

Располагая неполной информацией последнего временного слоя полей, в матрицу A может быть добавлен также столбец, представляющий предпоследний слой восстанавливаемого метеорологического элемента. Такое добавление позволит сделать качество восстановления не хуже “инерционного”, т. е. такого, когда в качестве восстанавливаемого значения поля в точке, берется его значение в этой точке с предшествующего временного слоя.

Все вышеприведенные схемы восстановления данных предполагают, что станции, на которых осуществляются измерения, находятся друг от друга на расстояниях, обеспечивающих достаточно устойчивые корреляционные связи. Более того, измеряемые метеорологические элементы предполагаются непрерывно изменяющимися. И если первое предположение, как правило, обосновано, второе – далеко не всегда. Такое метеорологическое поле, как количество осадков, выпадающее за определенное время, может быть разрывным как в пространстве, так и во времени, и поэтому качество восстановленных пропусков в этих полях оставляет желать лучшего. В этих условиях конкурентом восстановления поля с помощью полинома может служить простая авторегрессия, по той причине, что авторегрессия использует информацию с многих или со всех имеющихся временных слоев, которые в то же время могут быть достаточно близко друг от друга расположены.

Бесспорным приоритетом, в смысле предполагаемого качества аппроксимации, могла бы служить модель, которая учитывает в полной мере как пространственные, так и временные зависимости. Возьмем, например, в качестве параметров (столбцов A)

информацию со станций, расположенных в окрестности станции с пропуском, а в качестве ситуаций – все регулярные временные слои (строки A), включающие эти станции. Однако такая модель может оказаться неоправданно громоздкой по двум причинам. Во-первых, может оказаться, что полиномиальное преобразование придется брать от большого числа переменных. Во-вторых, модель в данном случае нужно перестраивать каждый раз заново, для каждой точки, в которой пропущены данные. При этом окрестность точки с пропуском надо каждый раз отбирать исходя из неформальных соображений. Если же брать все данные в качестве параметров (кроме пропущенных), то в этом случае матрица мономов M будет иметь очень большое количество столбцов.

Рассмотрим модель восстановления, которая учитывает как пространственные, так и временные зависимости, и в то же время является достаточно простой при реализации в режиме архивного восстановления.

Пусть в некотором временном слое некоторого метеорологического элемента a есть пропуски данных, подлежащих восстановлению. Исключив станции с пропусками из всех временных слоев, составим матрицу

$$\begin{pmatrix} x_1, \dots, x_N \\ y_1, \dots, y_N \\ z_1, \dots, z_N \\ a(t - \Delta t), \dots, a(t - \Delta t) \\ a(t), \dots, a(t) \\ a(t + \Delta t), \dots, a(t + \Delta t) \end{pmatrix}^T \quad (5)$$

где x, y, z – координаты станций, в которых нет пропусков, а $a(t), a(t - \Delta t), a(t + \Delta t)$ – соответствующие им значения метеорологического элемента в моменты $t, t - \Delta t, t + \Delta t$ – соответственно. По существу (7) есть аналог матрицы A с шестью столбцами. Осуществив F – преобразование этих столбцов, получим матрицу мономов, которая вместе с вектором-столбцом $(a_1(t), \dots, a_N(t))^T$ представляет исходный материал для минимизации функционала (3) и построения функции восстановления в слое $a(t)$. Восстановление пропусков с помощью этой функции возможно лишь для внутренних слоев временного ряда: последний и первый слой могут быть восстановлены (в случае пропусков) с помощью моделей, описанных в предыдущем разделе.

Относительная эффективность восстановления с помощью такой “псевдо-четырехмерной” аппроксимации может быть проверена сравнением со средне-арифметическим значением

$$a_j = \frac{a_j(t + \Delta t) + a_j(t - \Delta t)}{2}, \quad (6)$$

где $a_j(t)$ - значение подлежащего восстановлению метеорологического элемента в точке (x_j, y_j, z_j) в момент времени t .

Эксперименты.

Рассмотренные модели были испытаны на примерах восстановления различных метеорологических элементов, включая давление, температуру и температуру точки росы. Для этой цели использовалась выборка из банка данных UBDZ, включающая 19 метеорологических станций Западной Сибири и северного Казахстана за период с 1960 по 2000гг.

На этих данных были проведены многочисленные эксперименты по восстановлению пропусков и получены оценки, позволяющие судить об эффективности описанных выше моделей.

Поскольку основные трудности имели место при восстановлении пропусков на границе области, список исходных станций был разбит на две части в соответствии с принадлежностью станций внутренним, или граничным точкам этой области.

На рисунке 1 представлена символическая карта, на которой нанесены станции радиозондирования и наземных наблюдений, с семью станциями находящимися в вершинах изображенного выпуклого многоугольника, которые в дальнейшем классифицируются как граничные.

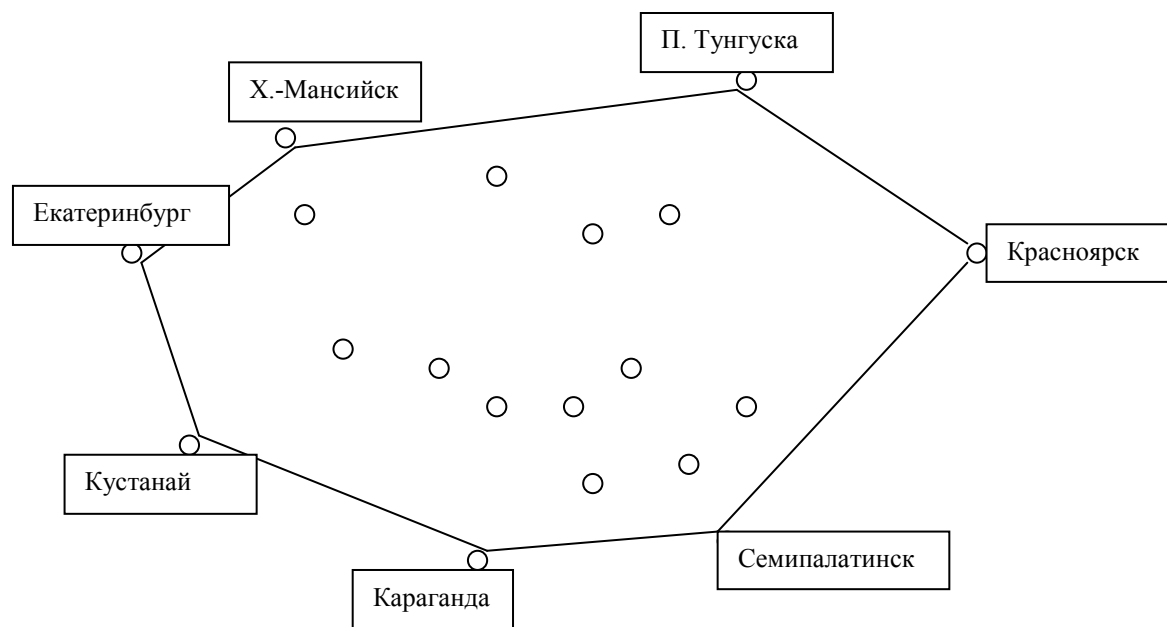


Рисунок 1. Схематическое изображение девятнадцати станций радиозондирования и наземных наблюдений, используемых для проверки эффективности моделей восстановления. Граничные станции обрاملены прямоугольниками.

Для сравнения различных моделей по качеству восстановления использовались следующие оценки:

$$\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |\varepsilon_i| - \text{средняя абсолютная ошибка,}$$

(7)

$$\frac{1}{N} \sqrt{\sum_{i=1}^N \varepsilon_i^2} - \text{средняя квадратичная ошибка,}$$

$$\varepsilon_i = (y_i - f(x_i))$$

При этом каждая ошибка вычислялась для ситуации, исключенной из множества, по которому осуществлялась полиномиальная аппроксимация, и далее таким образом эта ошибка осреднялась по всем искусственно создаваемым пробелам. Такая процедура, по существу аналогичная процедуре скользящего контроля, позволяет оценить качество одиночного восстановления, т.е. такого восстановления, когда поступающая во времени информация содержит лишь один пробел. Если число пробелов увеличивается, то

качество восстановления может ухудшаться. Однако для сравнения различных моделей подобные процедуры оценивания представляются вполне надежными.

Результаты оценок восстановления пропусков в полях давления, температуры и температуры точки росы сведены в таблицах 1-4.

Таблица 1 содержит суммарные результаты оценок по всем пяти рассмотренным выше моделям, которые использовались для восстановления пропусков в полях давления. При этом отдельно приводятся результаты экзамена для внутренних станций, для граничных станций и для всех вместе взятых станций.

Таблица 1

**Поведение средних абсолютных ошибок при восстановлении давления.
Число восстановлений 6897**

	По одному слою	По трем слоям	полусумма слоев	Инерционное восст.	Восст. по норме
Все станции	2,13	3,39	4,29	5,88	7,53
Граничные станции	3,28	3,61	4,15	5,71	7,49
Внутренние станции	1,46	3,26	4,38	5,98	7,55

Из таблицы явственно видно, что качество восстановления пропусков с помощью полиномиальной аппроксимации на границе области существенно хуже, чем внутри. При этом средние абсолютные ошибки внутри области для асинхронной аппроксимации становятся больше чем для синхронной. Однако во всех случаях полиномиальное восстановление превосходит по качеству инерционное восстановление и восстановление по норме. Полиномиальное восстановление, как синхронное, так и асинхронное, превосходит также и восстановление пропусков по полусумме двух соседних слоев.

При испытании моделей восстановления пропусков температуры использовалась аналогичная структура архива и соответственно были сформированы таблицы, аналогичные тем, которые представляли результаты оценок качества восстановления давления. В таблице 2 приведены средние абсолютные ошибки восстановления пропусков температуры для 263-х дней 1985 года.

Таблица 2

Поведение средних абсолютных ошибок при восстановлении температуры.**Число восстановлений 6897**

	По одному слою	По трем слоям	Полусумма слоев	Инерционное восст.	Восст. по норме
Все станции	2,78	2,67	2,99	3,75	3,99
Граничные станции	4,16	3,10	3,13	3,94	4,33
Внутренние станции	1,97	2,43	2,91	3,64	3,80

Глядя на эту таблицу, можно проследить достаточно ярко выраженный граничный эффект: ошибки на границе области существенно превосходят ошибки внутренних станций. Из этой же таблицы видно, что “псевдочетырехмерная” модель (восстановление по трем слоям) в целом дает положительный эффект по сравнению с восстановлением по одному слою. Результаты же инерционного восстановления, а также результаты, полученные путем осреднения соседних слоев, или путем использования норм, также как и при восстановлении давления, намного хуже полиномиального восстановления.

Также как и ранее, в случае восстановления давления, в первых двух столбцах таблиц граничный эффект прослеживается достаточно явно. При этом качество восстановления температуры по одному временному слою, если судить по средним абсолютным ошибкам, преобладает только для внутренних точек области. По всем же станциям преимущество остается за полиномиальной аппроксимацией по трем временным слоям.

Для исследования восстановления пропусков в поле температуры точки росы использовался тот же хронологический ряд, что и для восстановления приземной температуры. Результаты оценок восстановления, приведенные в таблице 3, не позволяют сделать каких-либо дополнительных выводов, поскольку поведение полученных оценок поразительным образом совпадает с поведением оценок, полученных при восстановлении поля температуры. При этом сами средние абсолютные ошибки близки к аналогичным оценкам, полученным при восстановлении пробелов в полях температуры.

Таблица 3

Поведение средних абсолютных ошибок при восстановлении температуры точки росы.

Число восстановлений 6878

	По одному слою	По трем слоям	Полусумма слоев	Инерционное восст.	Восст. по норме
Все станции	2,87	2,71	3,00	3,74	3,98
Граничные станции	4,16	3,05	3,07	3,83	4,23
Внутренние станции	2,11	2,51	3,29	3,68	3,84

Одним из факторов, повышающих эффективность восстановления метеорологических полей, является включение в исходные данные (в матрицу А) новых физических параметров. В частности, при восстановлении пропусков в поле температуры точки росы в качестве дополнительного параметра использовалась температура. В таблице 4 приведены оценки такого восстановления по одному и по трем временным слоям. Для сравнения приведены оценки восстановления, полученные без добавления приземной температуры.

Таблица 4

Поведение ошибок восстановления температуры точки росы с привлечением приземной температуры.

Число восстановлений 6878

	По одному слою	По трем слоям	По одному слою плюс температура	По трем слоям плюс температура
Средние абс. ошибки	2,87	2,71	1,86	1,33
Средние кв. ошибки	4,11	3,69	2,76	1,90

Как видно из таблицы, в результате добавления приземной температуры, средние абсолютные, также как и средние квадратичные ошибки уменьшились приблизительно в два раза.

Заключение.

Методы полиномиальной аппроксимации, описанные в настоящем отчете, позволяют восстанавливать пропуски в данных в достаточно разнообразных условиях.

Эти условия могут характеризоваться как требуемой оперативностью восстановления, так и количеством и качеством имеющейся для восстановления информации. Если информации для восстановления достаточно, то пропуски в данных могут быть восстановлены достаточно точно. Такая ситуация возможна, когда восстановление осуществляется не на границе области, или когда в окружающем точку восстановления пространстве не слишком много пропусков данных. В случае оперативного восстановления задача алгоритмически упрощается, поскольку приходится действовать в рамках одного временного слоя. С другой стороны, надежда на получение результатов при этом падает ввиду возможной нехватки информации.

Таким образом, расширение возможностей восстановления пропусков в метеорологических полях прежде всего связано с увеличением плотности информации, представляющей метеорологическое поле. Это расширение может осуществляться не только путем увеличения количества метеостанций или постов, но и за счет более подробного учета вертикальных профилей метеоэлементов, или же привлечения для восстановления дополнительных физических параметров.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Поляков Г.Г., Романов Л.Н. О восстановлении функций с помощью обобщенных полиномов. Труды ЗапСибНИГМИ. 1984. Вып. 63. С. 62-72.
2. Романов Л.Н. О восстановлении функциональной зависимости с помощью быстрого упорядочения. Новосибирск: Препринт ВЦ СО АН СССР, 1982. 16 с.
3. Романов Л.Н. Об аппроксимации нелинейных зависимостей с помощью непрерывных функций. Труды ЗаСибНИИ. 1988. Вып.83 С. 56-70.

МЕТОД ПРОГНОЗА КОЛИЧЕСТВА ОСАДКОВ ПО ПОЛУСУТКАМ ПЕНТАДЫ В ТЁПЛОЕ ПОЛУГОДИЕ ДЛЯ ЯКУТИИ

В СибНИГМИ в 1985 - 1995 гг. были разработаны методы прогноза метеоэлементов по полусуткам пентады для региона Урала и Сибири, в том числе для Якутии [5]. При испытаниях этих методов выявлена низкая успешность прогнозов количества осадков в тёплое время года, особенно сильных, опасных дождей. Нами был усовершенствован метод прогноза количества осадков по полусуткам пентады в тёплый период года для центральных и западных районов Якутии.

Известно, что выпадение осадков определяется общей синоптической ситуацией и влагосодержанием воздушной массы. При прогнозировании осадков обычно используются гидродинамические прогнозы барических полей. Однако влагосодержание воздушной массы этим методом оценивается неудовлетворительно. Использование фактических данных влагосодержания воздуха повышает успешность прогноза количества осадков на ближайшие сутки.

Нами применялся косвенный способ учёта влагосодержания воздушной массы. Использовались архивные материалы, содержащие сведения об осадках, атмосферном давлении на уровне моря (P_0), геопотенциале уровня 500 гПа (H_{500}), температуре воздуха на уровне 850 гПа (T_{850}) за май-сентябрь 1976-1980 гг.

Данные представлены в узлах сетки $5^\circ \times 5^\circ$ на территории, ограниченной меридианами 105-135° в.д. и широтами 55-70° с.ш. (рисунок 1) за ОО ч СГВ. Архив данных по осадкам представляет из себя осреднённое для каждого района Якутии (районирование ГМЦ Якутского УГМС) полусуточное количество осадков на метеостанциях района.

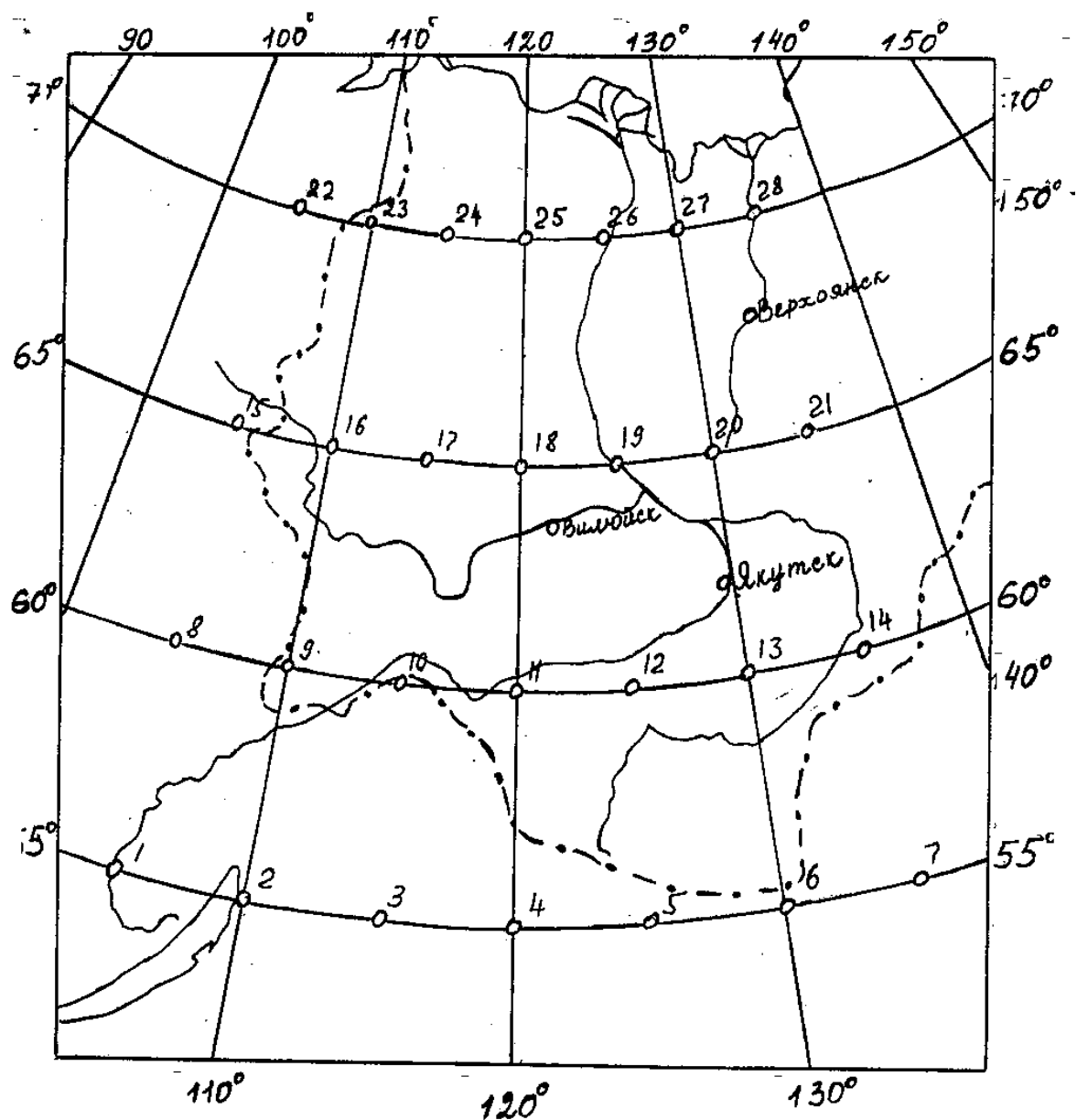


Рисунок 1. Территория, ограниченная меридианами 105-135° в.д. и параллелями 55-70° с.ш., по которой были собраны данные наблюдений

Суть исследования атмосферных процессов, приводящих к значительным осадкам или их отсутствию в южных районах Якутии, состояла в следующем: формировалось две выборки: одна с наиболее значительными осадками, другая - с их отсутствием. Далее в обеих выборках значения параметров осреднялись по 28 точкам (рисунок 1). Затем для каждой из точек определялась разность средних значений P_0 , H_{500} , T_{850} в двух выборках, определялись районы (точки) с наибольшей разностью

значений метеозлементов. Таким образом, выявлялись территории, в которых P_0 , H_{500} , T_{850} наиболее информативны по факту наличия или отсутствия осадков.

На рисунке 2 буквой τ обозначен сдвиг по времени в сутках. При $\tau = 0$ представлена разность значений P_0 и H_{500} для выборок со значительными осадками и без осадков в синхронный срок, то есть для тех суток, когда выпадали осадки и когда их не было.

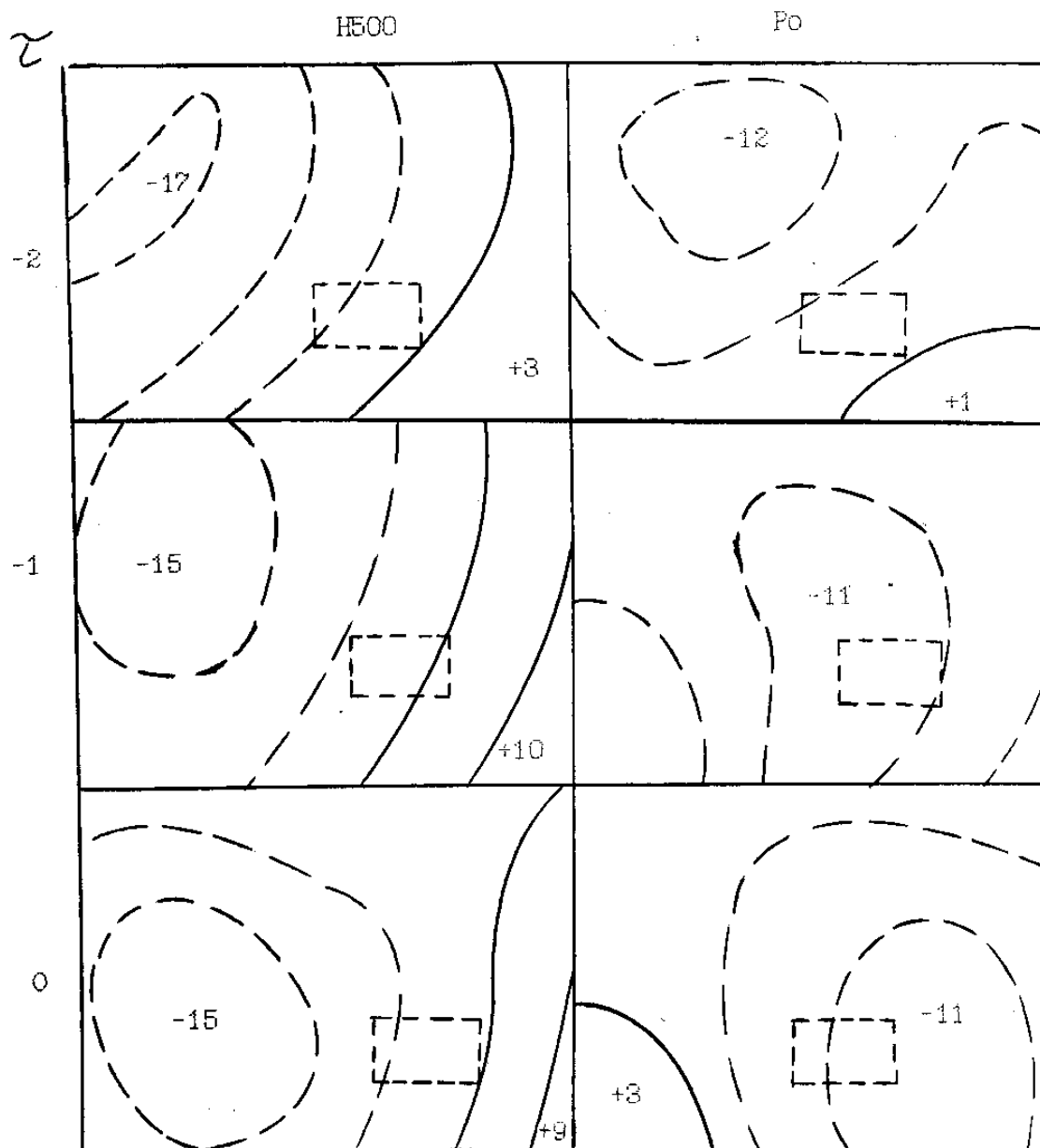


Рисунок 2. Циклональные процессы: при значительных осадках на юге Якутии в средней тропосфере над этим районом располагается фронтальная зона с юго-западным переносом воздушных масс, а при отсутствии осадков перенос воздушных масс с северо-востока.

Наибольшее значение разности P_0 составляет -11 и отмечается в точке непосредственно к востоку от района, для которого определяются условия выпадения осадков. Это значит, что при значительных осадках P_0 в этой точке в среднем на 11 мб ниже, чем в случаях без осадков. По данным H500 разность значений в двух выборках составляет -16, -17 гПа к северо-западу от района исследования и 5-10 гПа к востоку от него. Такое распределение разностей H_{500} означает, что при значительных осадках на юге Якутии в средней тропосфере над этим районом располагается фронтальная зона с юго-западным переносом воздушных масс, а при отсутствии осадков перенос воздушных масс с северо-востока. В целом информативность полей P_0 и H_{500} с увеличением заблаговременности уменьшается. Так, за четыре-пять суток до значительных осадков на юге Якутии над её территорией наблюдается пониженный фон P_0 и H_{500} , за трое суток появляется циклоническое образование, а за двое суток обнаруживается его перемещение на юго-восток к району выпадения значительных осадков (рисунок 2). При отсутствии осадков атмосферные процессы в предшествующие несколько суток противоположны. А именно, за четыре-пять суток над рассматриваемой территорией наблюдается повышенный фон P_0 и H_{500} , а за трое суток на северо-западе территории появляется антициклоническое образование, которое смещается на юго-восток. Значимость данных P_0 и H_{500} в информативных районах определялась и способом "от противного", то есть делались выборки осадков для определённых градаций P_0 и H_{500} . Значимость данных P_0 и H_{500} в информативных районах покажем на примере: за двое суток до значительных осадков информативным по P_0 является район к северу от среднего течения реки Вилюй (точка с координатами 65° с.ш. и 115° в.д.) (рисунок 2, $\tau = -2$). Чем ниже P_0 в этой точке, тем больше будет количество осадков на юге Якутии через двое суток. Вместе с тем на юго-востоке рассматриваемой территории находится другой информативный район с обратной связью с количеством осадков, то есть чем выше P_0 , тем больше осадков. А это значит, что при увеличении барических градиентов повышается количество осадков. Далее из архива выбирались осадки для двух выборок: 1) P_0 в северной точке больше 1015 мб, а разность (ΔP) между P_0 в северной и юго-восточной точках больше 8; 2) P_0 в северной точке меньше 1000 мб, ΔP меньше -5. Осадки (мм) в этих двух выборках представлены в таблице 1.

Таблица 1

**Суточное количество осадков в южных районах Якутии
в двух выборках при разных значениях приземного
давления и его разности в выбранных точках**

Выборка 1	Выборка 2
$P_0 > 1015$	$P_0 < 1000$
$P > 8$	$P < -5$
0,0	14,3
0,0	0,8
0,0	0,0
2,9	19,4
0,0	2,7
0,3	6,7
0,2	15,8
1,6	0,0
5,2	5,9
0,1	9,1
3,2	13,8
0,0	0,0
0,0	3,5
0,0	6,3
2,8	11,1
Среднее 1,1	Среднее 7,3

Из данных видно, что в первой выборке количество осадков меньше, чем во второй. Число случаев без осадков в первой выборке составляет 7, во второй - 3. Среднее количество осадков во второй выборке на 6,2 мм больше, чем в первой. Таким образом, чем ниже P_0 в точке 17 (рисунок 1) и выше в точке 6, тем больше вероятность осадков и их количество в южных районах Якутии через двое суток.

На данном этапе был сделан вывод о хорошей значимости для количества осадков аномальных значений P_0 и H_{500} . То есть, чем больше значение P_0 и H_{500} отличается от нормы, тем лучше их связь с осадками.

В результате проведённого исследования уточнены и выявлены новые параметры атмосферных процессов, имеющие связь с сильными осадками в западных и центральных районах Якутии. Перед сильными осадками в течение нескольких дней наблюдается определённый характер развития атмосферных процессов. Основные из них: фронтальная зона достаточной интенсивности с южным или юго-западным

переносом воздушных масс, близость траектории центра глубокого приземного циклона, значительные барические градиенты в тыловой части циклона.

При разработке количественных схем прогноза осадков используют различные численные параметры барических полей. Существует стандартный набор таких параметров: лапласианы, градиенты, отклонение от нормы, коэффициенты разложения полей по естественным ортогональным функциям. В настоящем исследовании численные параметры барических полей (предикторы) определялись конкретно для каждого района республики Саха. Это делалось с целью максимального учёта местных условий осадкообразования. Предикторами являлись значения P_0 и H_{500} в информативных районах и их сочетания.

На этом этапе исследования вначале были выбраны наиболее значимые для количества осадков параметры (значения P_0 и H_{500} в информативных районах и их сочетания). Затем опытным путём определялось ориентировочно математическое выражение вида:

$$Y = a_1 X_1 + a_2 X_2 \dots a_n X_n ,$$

где Y - прогностическое количество осадков,

a - коэффициенты пропорциональности,

X - значения предикторов,

которое на основании выбранных параметров давало бы наиболее точно значительные осадки. Затем это математическое выражение уточнялось на всём архиве данных таким образом, чтобы наиболее успешно предсказывать не только значительные осадки, а любое их количество и случаи без осадков. Был проведён ряд экспериментов, в которых выбранные для прогноза параметры поочерёдно входили в уравнение с разными весами.

Таким образом, были получены прогностические уравнения для каждого из 10 районов в западной и центральной части Якутии (рисунок 1). Предварительные испытания полученных прогностических уравнений показали, что они завышают расчётное количество осадков в тех случаях, когда осадки малы. С целью корректировки прогностического количества осадков в этих случаях были привлечены параметры и приёмы прогнозирования, применяемые в ранее разработанном методе прогноза [5]. Корректировка проводилась для каждого района и месяца. Определялись

пропорции различных вариантов расчёта осадков (аналоги, регрессия, вероятность сильных осадков), обеспечивающие наилучшую оправдываемость прогноза.

Авторские испытания усовершенствованного метода прогноза проводились на материале 1994 г. с целью сравнения оценок прогноза с оценками ранее разработанного метода. Прогнозы оценивались по "Наставлению" [3], а также по "Методическим указаниям" [1]. По техническим причинам не были испытаны прогнозы за июль.

По результатам авторских испытаний в среднем оправдываемость усовершенствованного метода возросла незначительно. Но улучшение прогнозов получено в основном за счёт лучшего прогноза сильных осадков. Если по старому методу расчётное количество осадков за полусутки редко достигало 1,5 - 2,0 мм, то по усовершенствованному методу расчётное количество осадков бывает 6-7 мм.

Оперативные испытания усовершенствованного метода проводились в Якутском УГМС в тёплый период 1999 г. При этом при оценке прогнозов использовался допуск по времени 12 часов. Например, прогнозируются осадки на ночь с заблаговременностью трое суток. При оценке прогноза ещё используют данные по осадкам с заблаговременностью двое суток за день и с заблаговременностью трое суток за день. Такой приём оценки прогнозов повышает их успешность. Техсовет Якутского УГМС принял решение использовать усовершенствованный метод прогноза осадков в качестве основного метода по некоторым районам республики Саха, а по остальным районам в качестве вспомогательного и консультативного метода.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Методические указания РД 52.27.284-91. С.-Пб.: Гидрометиздат, 1991. 150с.
2. Митропольский А.К. Техника статистических вычислений. М.:Наука, 1971. 576с.
3. Наставление по службе прогнозов. Раздел 2, ч. III, IV, V. М.: Гидрометиздат, 1981. 55с.
4. Панасенкова В.А. Анализ условий выпадения интенсивных дождей в тёплое
5. полугодие // Методическое письмо Якутского УГМС, Якутск, 1988. С.44-48.

6. Разработать метод прогноза осадков, ветра и облачности, детализированных по полусуткам, по дням пентады для западных и центральных районов республики Саха : Отчёт о НИР / ЗапСибНИГМИ Росгидромета; Руководители Токарев В.Г., Здерева М.Я. Шифр темы 8.4.38; Н ГР 01910042508. Новосибирск, 1994. 70 с.
7. Чернова В.П. Синоптические условия сильных дождей в зоне Южно-Якутского
8. ТПК // Методическое письмо Якутского УГМС, Якутск, 1988. С.48-50.

И.О. Лучицкая, Н.И. Белая, Н.Н. Филоненко

ОПТИМИЗАЦИЯ МЕТОДОВ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА КЛИМАТИЧЕСКИХ РЯДОВ ВЫСОТЫ СНЕЖНОГО ПОКРОВА

Развитие методов и технологий обобщения, анализа и использования климатических данных, ориентированных на обслуживание отраслей природопользования, относится к числу ключевых проблем гидрометеорологии. Одной из задач является контроль качества исходной информации. Не проведенная должным образом ее верификация может отразиться на достоверности нормативных документов (СНИПы, справочники, рекомендации), объективности оценок при анализе данных, наконец, на интерпретации результатов научных исследований.

Разработке критериев автоматизированного контроля метеорологических величин, характеризующихся различной устойчивостью в пространстве и времени, оценке эффективности методов и дальнейшей их оптимизации посвящены многочисленные исследования [1-3,5,6,8,9,11,12]. Однако, несмотря на имеющиеся возможности обеспечения качественных банков метеорологических данных на основе современных технологий анализа и контроля, они, как показал опыт участия СибНИГМИ в подготовке электронной версии Научно-прикладного справочника по климату России, содержат достаточно много ошибок. Так, в результате выполненной нами верификации многолетних рядов скорости ветра, влажности воздуха, снежного покрова и температуры почвы на базе 10 станций в пределах Сибирского федерального округа выявлено около 700 ошибок. Наиболее "засоренными" оказались базы данных двух последних элементов климата. Между тем, потребитель режимной информации должен иметь твердую уверенность и гарантию ее достоверности.

Результаты систематизации и критического анализа наиболее известных методов контроля гидрометеорологических данных свидетельствуют, что каждая методика обладает своими недостатками, поэтому применение какого-либо одного способа не обеспечивает надежности результатов проверки [5]. На наш взгляд, одним из путей

оптимального разрешения противоречий, возникающих при выборе способа контроля, может стать комплексация методов.

В настоящей статье исследуется эффективность различных методов контроля климатических рядов высоты снежного покрова, а также их комплексации с целью выбора наиболее оптимального, т.е. позволяющего выявить ошибки при минимальном количестве проверяемых данных. Для этого привлечены материалы ежедневных снегомерных наблюдений по постоянной рейке за период не менее 50 лет в пределах 1936-2000 годов.

Контроль метеорологических рядов всегда основывается на использовании определенных, точно известных свойств рассматриваемого элемента, причем эти свойства могут иметь как физическую, так и статистическую природу.

Временная и пространственная изменчивость высоты снежного покрова, как и любой характеристики климата, обуславливается физико-географическими особенностями той или иной территории. Она существенно зависит от режима осадков, ветра, повторяемости метелей и в значительной степени от местных условий. Характерной чертой является рост высоты снежного покрова в течение зимы с максимумом, которого она достигает к началу весеннего снеготаяния. Указанные особенности режима определяют статистические свойства временных рядов высоты снежного покрова. В работе [4] показано, что распределение ее несущественно отклоняется от нормального. Кроме того, ежедневные значения высоты снежного покрова не являются независимыми, и даже для интервала времени между наблюдениями 5 суток величина структурной функции достаточно мала. И, наконец, тенденция постоянного накопления снега есть отражение нестационарности процесса.

Нами рассмотрены три способа контроля. В качестве первого подхода использован метод, основанный на учете временной изменчивости метеорологической величины, который применим к любым типам распределения [5]. Суть его состоит в фильтрации отклонений за единицу времени (срок, сутки) относительно реально возможного порогового уровня [5,11]. Если при сравнении двух смежных значений ряда величина отклонения оказывается превышенной, то одно из них признается сомнительным, требующим проверки. Следует иметь в виду, что этот прием имеет

ограничения при наличии трех и более последовательных близких по величине ошибок (различие не превышает установленного критического уровня), поскольку обнаружены будут только крайние из них. После установления истинности этих значений должна выполняться повторная фильтрация набора данных.

Следующий способ оценки достоверности опирается на метод исключения резко выделяющихся наблюдений. Он предназначен для статистического выявления грубых ошибок в больших объемах информации, которую практически невозможно проконтролировать путем непосредственного анализа всех наблюдений [2,5].

Критерий отнесения значений к сомнительным определяется по формуле:

$$K = \frac{(X_i - X)}{\sigma}, \quad (1)$$

где X_i , X - соответственно i -е и среднее значения ряда, σ - среднее квадратическое отклонение.

Контроль информации предполагает использование критического уровня K . Величина его устанавливается с помощью теоремы Муавра-Лапласа - правила "3-х сигм", в котором говорится, что для нормально распределенного ряда случайных величин вероятность попадания всех его значений в интервал $\Delta X = X + 3\sigma$ равна 0,997 [5]. Для негауссовских распределений величина K подбирается эмпирически (метод "K-сигм"). Как показано в [1,2,6], для контроля температуры воздуха и атмосферных осадков суточного разрешения достаточно эффективными оказались соответственно $K > 4,0$ и $K > 8,0$.

В отличие от метода "K-сигм" применение квантильного анализа позволяет контролировать заданное число экстремальных значений. Осуществляется выбор критического уровня обеспеченности (P), отсекающего часть распределения с аномальными величинами (X_i), где наиболее вероятны ошибки. Величина P зависит от числа наблюдений (N) и любого предполагаемого количества (n) ошибок. Например, для объема выборки $N=1200$ и $n=4$ необходимо задать $P < 0,0025$ или $P > 0,9975$ соответственно для левой и правой ветвей кривой интегрального распределения. Таким образом, при обработке информации по месяцам за один срок согласно указанным условиям потребуется проверить около 120 случаев. С целью возможного сокращения этого объема данных предлагаем рассчитывать нормированный показатель (R),

характеризующий отклонение каждого сомнительного значения от критического ($X_{кр.}$) при выбранном уровне P :

$$R_i = \frac{(X_i - X_{кр.})}{\sigma}, \quad (2)$$

где $i=1,2,..., n$.

Чем больше R_i , тем вероятней, что значение является ложным. На основе анализа ошибок и соответствующих им величин параметра R устанавливается оптимальный его уровень, выше которого данные требуют проверки, а ниже - признаются истинными.

Более доступный, модифицированный вариант изложенного подхода состоит в проверке достоверности любого количества (n) крайних значений ранжированного ряда (X_i) независимо от N и P . В качестве $X_{кр}$ принимается значение $n+1$ члена ряда. Рассчитывается показатель Rm :

$$Rm_i = \frac{(X_i - X_{n+1})}{\sigma}. \quad (3)$$

Оценка качества информации и выбор граничной величины критерия Rm осуществляется способом аналогичным R .

На первом этапе нами рассмотрен способ фильтрации данных высоты снежного покрова на основе допустимого изменения от суток к суткам (в дальнейшем будем называть метод "ступенек"). Пороговые уровни $\Delta H > 20$, > 30 , > 40 выбраны исходя из максимального за зиму прироста высоты снежного покрова в различных условиях режима формирования и залегания его на территории Сибири [7]. Эти же критерии приняты и для оценки межсуточного уменьшения снежного покрова вследствие таяния или влияния динамических факторов, обуславливающих, к примеру, выдувание снега.

Данные таблицы 1 показывают, что критерий $\Delta H > 20$ см является наиболее результативным, поскольку фиксирует в целом максимальное количество ошибок (всего 95). На станциях их число варьирует от нескольких случаев до двух десятков. Следует особо отметить, что метод не требует больших затрат времени для верификации данных, т.к. количество "напрасных" отбраковок по $\Delta H > 20$ см составляет 20-30% от общего числа выделенных сомнительных значений. Иными словами, из каждых 10 случаев 7 или 8 подтверждаются как ложные.

Таблица 1

**Число случаев сомнительных (S), в том числе ошибочных (O)
значений высоты снежного покрова при различных ΔH**

Станция	$\Delta H > 20$		$\Delta H > 30$		$\Delta H > 40$	
	S	O	S	O	S	O
Александровское	21	13	10	9	9	8
Кондома	120	15	32	12	17	11
Рубцовск	13	5	8	4	4	2
Ярцево	20	17	17	17	16	13
Ирбейское	14	12	9	9	5	5
Кызыл	0	0	0	0	0	0
Бодайбо	9	5	4	4	3	3
Тайшет	33	22	24	20	22	18
Могоча	8	6	5	5	4	4
Всего	238	95	109	80	80	64

На фоне отмеченного соотношения проверяемых и ошибочных значений резко выделяется станция Кондома, расположенная в замкнутой котловине Горной Шории, где выпадает значительное количество осадков и высота снежного покрова достигает 120 см [10]. В этих условиях колебания менее 20 см - явление довольно частое (120 случаев). Как следствие, процесс контроля становится достаточно трудоемким, поэтому для станций с подобным режимом снегонакопления можно рекомендовать более жесткий критерий - $\Delta H > 30$ см, сокращающий количество сомнительных данных в 4 раза. "Потерянными" при этом ошибками можно пренебречь ввиду их мелкомасштабности относительно больших высот снежного покрова.

В процессе апробации метода "ступенек" обнаружены не только случайные, но и разного рода серийные ошибки высоты снежного покрова. Так, 29 февраля високосных годов вместо фактических величин, подтвержденных первоисточниками, до 1984 года включительно проставлен признак отсутствия данных (-99999), а в 1988, 1992 и 1996 годах - нули. Часть из них найдена критерием $\Delta H > 20$, остальные, для которых $\Delta H < 20$, - при дополнительном анализе всех "високосных" февралей. Кроме того, имеет место наличие дублирующих блоков данных. Например, в Александровском эта погрешность касается 1997-1999 годов. Фиксация череды "ступенек" в пределах одного месяца вывела на брак данных всего месяца (Тайшет, апрель 1968 года). И, наконец, выявлены массовые ошибки, связанные с занесением данных высоты снежного покрова в летние

месяцы (Тайшет, 1974 год). Если условно суммировать все названные ошибки, то их количество будет исчисляться сотнями. Очистить информацию от такого рода недостоверных данных можно путем тестирования на корректность заполнения макета, дублирование, сезонную реальность явления. Выполнить это следует на предварительном этапе до реализации методов контроля.

Далее была рассмотрена эффективность статистического метода " K -сигм". При его использовании не учитывались свойства связности и стационарности исследуемых рядов, поскольку стремиться к повышению точности статистик, рассчитанных по "засоренным" ошибками выборкам, вряд ли целесообразно.

Ввиду незначительного отклонения распределений высоты снежного покрова на территории Сибири от нормального [4], ее контроль осуществлялся с помощью критерия $K \geq 4,1$. Следует обратить внимание, что в таблице 2 представлены данные о повторяемости параметра K во всем диапазоне его изменения и сведения об ошибках, обнаруженных по $\Delta H > 20$ см.

Полный ее анализ будет проведен ниже при рассмотрении комплексации методов. По результатам же верификации объема данных в соответствии с выбранным критерием $K \geq 4,1$ зафиксировано 65 ошибок, при этом количество подлежащих проверке данных существенно (примерно вдвое) превосходит их число по сравнению с методом "ступенек". Тот факт, что преобладающая часть ложных значений сосредоточена в области больших значений K - более 10,0 свидетельствует о чувствительности критерия в основном к особенно грубым промахам. Совершенно очевидно, что по показателям эффективности данный метод уступает предыдущему.

При использовании модифицированного способа квантильного анализа контролировались по 5 крайних значений ранжированного ряда (формула (3)). В таблице 3 также помещена дополнительно информация об ошибках, используемая в дальнейшем для оценок комплексирования.

Таблица 2

**Количество сомнительных данных, в том числе ошибок высоты снежного покрова по постоянной рейке
при различных K (соответственно верхняя и нижняя строки)**

Станция	Число случаев	Критерий K											Число случаев с $K \geq 4,1$
		0,0-1,0	1,1-2,0	2,1-3,0	3,1-4,0	4,1-5,0	5,1-6,0	6,1-7,0	7,1-8,0	8,1-9,0	9,1-10,0	>10	
Александровское	20395 13/13*	18063 1/1*	1839 2/2*	372 -	74 4/4*	28 -	4 -	1 1/1*	0 -	0 -	1 -	13 5/5*	47 6/6*
Кондома	17914 15/15*	15938 2/2*	1287 3/3*	418 -	157 3/3*	72 1/1*	10 -	7 -	5 -	5 -	5 2/2*	10 4/4*	114 6/6*
Рубцовск	17565 8/5*	15831 3/3*	1094 3/-	365 -	150 -	64 -	26 -	8 -	15 -	3 -	1 1/1*	8 1/1*	125 2/2*
Ярцево	17579 20/17*	15475 3/3*	1544 2/2*	431 1/1*	58 2/2*	40 1/1*	20 2/2*	0 -	0 -	0 -	0 -	11 9/6*	71 12/9*
Ирбейское	16459 13/12*	14978 -	1028 -	299 2/2*	69 1/1*	27 -	24 -	11 -	6 -	0 -	2 1/1*	15 9/8*	35 10/9*
Кызыл	7738 2/-	6628 -	874 -	161 -	34 2/-	7 -	10 -	9 -	7 -	4 -	0 -	4 -	41 -
Бодайбо	14791 6/5*	12580 1/1*	1688 -	439 -	54 -	16 3/3*	2 -	0 -	1 -	6 -	0 -	5 1/1*	30 4/48
Тайшет	17370 23/22*	16273 -	646 3/2*	295 1/1*	86 -	36 -	4 -	2 -	2 -	1 -	1 -	24 19/19*	70 19/19*
Могоча	13056 6/6*	11412 -	955 1/1*	535 -	100 -	29 -	7 -	4 -	4 -	1 -	2 -	7 5/5*	54 5/5*
Всего	142867 106/95*	127178 10/10*	10955 10/10*	3315 4/4*	782 10/10*	319 5/5*	107 2/2*	42 1/1*	40 -	20 -	12 4/4*	97 53/49*	637 65/61

Примечание: число со звездочкой означает количество ошибок, выявленных по $\Delta H > 20$ см смежных суток.

Таблица 3

**Количество сомнительных данных, в том числе ошибок высоты снежного покрова по R_m и $\Delta H > 20$ см
(соответственно верхняя и нижняя строки)**

Станция	Критерий R_m											Ошибка только по ΔH	Общее число случаев
	0,0-1,0	1,1-2,0	2,1-3,0	3,1-4,0	4,1-5,0	5,1-6,0	6,1-7,0	7,1-8,0	8,1-9,0	9,1-10,0	>10		
Александровское	21 3/3*	2 -	2 1/1*	2 -	0 -	0 -	1 -	0 -	0 -	1 -	8 5/5*	4	37 9/13*
Кондома	23 -	6 3/3*	5 -	0 -	1 1/1*	0 -	2 -	0 -	0 -	1 1/1*	6 4/4*	6	44 9/15*
Рубцовск	23 3/-	1 -	0 -	0 -	3 -	0 -	0 -	0 -	0 -	1 1/1*	5 1/1*	3	33 5/5*
Ярцево	25 3/3*	1 -	0 -	2 2/2*	1 1/1*	1 1/1*	0 -	1 -	0 -	0 -	9 8/5*	5	40 15/17*
Ирбейское	17 2/2*	7 -	1 -	0 -	0 -	2 1/1*	0 -	1 -	0 -	1 -	12 9/8*	1	41 12/12*
Кызыл	20 2/-	2 -	0 -	1 -	0 -	0 -	0 -	1 -	0 -	0 -	2 -	-	26 2/-
Бодайбо	22 -	2 -	3 3/3*	0 -	0 -	0 -	1 -	1 -	0 -	0 -	3 1/1*	1	32 5/5*
Тайшет	8 3/2*	4 -	3 -	1 -	1 -	3 -	2 -	0 -	3 2/2*	1 1/1*	16 16/16*	1	42 22/22*
Могоча	6 -	4 -	4 -	2 -	2 -	0 -	0 -	0 -	1 -	0 -	5 5/5*	1	24 5/6*
Всего	165 16/10*	29 3/3*	18 4/4*	8 2/2*	8 2/2*	6 2/2*	6 -	4 -	4 2/2*	5 3/3*	66 49/45*	22	319 84/95*

Примечание: * - ошибки, выявленные по $\Delta H > 20$ см смежных суток при различных R_m .

Непосредственно апробируемый прием контроля позволил выявить из 319 сомнительных данных 84 ошибки. Ограничить объем проверяемых данных путем установления оптимальной границы Rm_i не представляется возможным, т.к. ложные значения распределены во всем диапазоне его изменения.

По результатам проведенного контроля тремя описанными выше методами в общей сложности обнаружено 106 недостоверных значений, перечень которых приведен в таблице 4. Как видно, значительная часть ошибок превышает фактическую величину на порядок. При этом высота снежного покрова зачастую представлена неправдоподобными значениями (например, в Ярцево вместо 71 см указано 710 см). Отмечаются нередко единичные "выбросы" в летние месяцы на фоне полного отсутствия снежного покрова. Ошибочными могут быть не только аномально большие значения, но и напротив, малые величины (к примеру, Кондома, декабрь 1968 года). Таким образом, спектр и характер ошибок достаточно разнообразен.

В методическом плане данные таблицы 4 свидетельствуют, что ни один из рассмотренных методов не чувствителен ко всем ошибкам. Так, "ступеньки" пропускают случаи $s\Delta H < 20$ см, "K-сигма" - при значениях $K < 4,1$, способ квантильного анализа - когда ошибочное значение не входит в число проверяемых величин. Данное обстоятельство указывает на необходимость комплексации этих методов, каждый из которых компенсировал бы недостатки другого.

Таблица 4

**Чувствительность критериев контроля к ошибкам в данных
высоты снежного покрова, см**

Дата	Ошибка	Верное значение	Критерий контроля		
			$\Delta H > 20$	K	Rm
Александровское					
08.05.1941	460	46	+	36,6	32,1
02.11.1948	44	4	+	3,3*	-
03.01.1953	332	32	+	20,6	18,2
01.04.1957	0	30	+	1,0*	-
30.12.1970	97	17	+	6,8	2,3
16.09.1971	72	0	+	38,1	35,5
12.05.1972	24	0	+	1,7*	-
22.05.1972	21	0	+	1,4*	-
03.07.1972	50	0	+	46,6	46,6
31.08.1972	29	0	+	46,6	46,6
29.02.1988	0	47	+	3,1*	0,8
29.02.1992	0	44	+	3,1*	0,8
29.02.1996	0	55	+	3,1*	0,8
Кондома					
22.02.1939	14	114	+	0,9*	-
17.06.1968	110	0	+	36,9	36,9
08.12.1968	0	150	+	1,1*	-
30.12.1968	20	202	+	1,4*	-
20.06.1972	45	0	+	15,1	15,1
30.06.1973	59	0	+	19,8	19,8
07.10.1973	68	0	+	9,7	4,9
03.08.1974	116	0	+	44,1	44,1
26.05.1975	63	0	+	4,3	-
31.08.1975	26	0	+	9,9	9,9
29.02.1988	0	91	+	3,9*	1,6
09.02.1990	135	115	+	1,8*	-
29.02.1992	0	86	+	3,9*	1,6
29.12.1995	76	56	+	0,6*	-
29.02.1996	0	96	+	3,9*	1,6
Рубцовск					
23.02.1946	39	69	+	0,9*	-
01.04.1951	0	34	+	0,9*	-
07.07.1973	99	0	+	45,6	45,6
31.08.1975	26	0	+	9,9	9,9
01.04.1976	0	61	+	0,3*	-
29.02.1988	0	12	-	1,5*	0,1
29.02.1992	0	17	-	1,5*	0,1
29.02.1996	0	18	-	1,5*	0,1

Продолжение таблицы 4

Дата	Ошибка	Верное значение	Критерий контроля		
			$\Delta H > 20$	K	Rm
Ярцево					
25.04.1936	270	27	+	5,2	3,6
26.04.1936	270	27	+	5,2	3,6
30.12.1941	71	41	+	1,0*	-
19.04.1947	520	52	+	11,7	5,6
22.04.1952	710	70	+	16,6	14,6
21.04.1953	170	17	+	2,7*	0,6
04.02.1955	95	55	+	0,8*	-
22.04.1963	7	77	+	0,1*	-
29.06.1970	6	0	-	35,0	29,2
18.10.1970	201	20	+	36,9	36,9
25.07.1971	271	0	+	41,3	41,3
28.09.1971	7	0	-	17,2	12,4
30.08.1972	37	0	+	43,1	43,1
09.09.1972	7	0	-	17,2	12,4
20.11.1975	4	44	+	1,5*	4,3
03.05.1976	99	9	+	4,2	-
16.07.1976	80	0	+	2,2	12,2
17.02.1988	78	108	+	1,4*	-
29.02.1988	0	107	+	3,5*	1,0
29.02.1992	0	105	+	3,5*	1,0
Ирбейское					
07.12.1938	40	10	+	3,5*	-
26.03.1946	111	11	+	9,1	6,0
07.07.1966	55	0	+	41,5	41,5
20.08.1970	20	0	-	15,4	15,5
07.09.1970	29	0	+	21,9	21,9
12.06.1971	102	0	+	33,0	32,9
17.08.1971	38	0	+	29,5	29,5
12.06.1973	53	0	+	17,1	17,1
27.06.1973	56	0	+	18,1	18,1
27.08.1973	33	0	+	25,6	25,6
20.09.1976	34	3	+	25,7	19,7
29.02.1988	0	40	+	2,3*	0,0
29.02.1992	0	25	+	2,3*	0,0
Кызыл					
29.02.1988	0	19	-	3,7*	0,0
29.02.1992	0	20	-	3,7*	0,0
Бодайбо					
30.05.1968	100	0	+	41,2	38,7
28.09.1973	22	2	+	30,9	30,5
18.04.1976	23	0	+	0,3*	-
29.02.1988	0	50	+	4,9	2,6
29.02.1992	0	57	+	4,9	2,6
29.02.1996	0	40	+	4,9	2,6

Продолжение таблицы 4

Дата	Ошибка	Верное значение	Критерий контроля		
			$\Delta H > 20$	K	Rm
Тайшет					
27.01.1938	510	51	+	28,5	25,7
04.02.1940	320	32	+	16,2	13,6
21.02.1940	340	34	+	17,3	14,7
28.03.1941	230	23	+	13,8	9,8
28.01.1942	220	22	+	11,5	8,7
16.11.1943	210	21	+	18,9	15,8
03.12.1945	180	18	+	15,4	11,1
24.02.1946	280	28	+	14,0	11,4
27.11.1946	170	17	+	15,2	12,1
01.02.1948	230	23	+	11,2	8,6
31.12.1955	44	4	+	2,5*	-
05.04.1964	280	28	+	22,2	16,1
31.05.1966	69	0	+	23,2	20,2
13.07.1967	80	0	+	42,3	42,3
09.06.1968	68	0	+	12,6	12,5
17.06.1968	170	0	+	31,6	31,5
23.05.1970	98	0	+	33,5	30,1
12.06.1971	132	0	+	24,5	24,4
07.08.1971	39	0	+	42,4	42,4
16.09.1976	30	0	+	39,8	37,2
29.02.1988	0	30	+	1,3*	0,2
29.02.1992	0	28	+	1,3*	0,2
29.02.1996	0	19	-	1,3*	0,2
Могоча					
27.03.1967	21	0	+	1,1*	-
14.05.1967	104	0	+	35,5	30,1
31.05.1967	52	0	+	17,7	12,3
04.09.1968	36	0	+	21,2	20,4
10.01.1973	222	22	+	24,2	21,6
11.09.1975	56	0	+	33,1	27,2

Примечание: звездочкой отмечены значения $K < 4,1$, рассчитанные дополнительно для всех ошибок

За основу взят метод "ступенек" с $\Delta H > 20$ как наиболее оптимальный, фиксирующий подавляющее количество ложных значений при наименьшем объеме проверяемых данных. Далее задача состояла в том, чтобы найти рациональный подход к выявлению оставшихся ошибок другими критериями (K или Rm).

Вначале был исследован вариант комплексации ΔH - K -сигма. В таблице 2 представлено распределение по градациям величин K для каждого значения контролируемого ряда, в его поле разнесены все ошибки, выявленные по "ступенькам" $\Delta H > 20$. Причем, в области $K < 4,1$, где данные по этому критерию не подвергались верификации, значения K рассчитаны специально для случаев по ΔH (таблица 4). Комплексный анализ погрешностей наглядно показывает, что метод

"ступенек" выявляет их вплоть до порогового уровня $K=9,0$, в остальном диапазоне K - он частично не "срабатывает". Отсюда следует, что проверку качества рядов необходимо строить в два этапа. Сначала проводить полностью контроль данных с использованием критерия $\Delta H > 20$, а затем - лишь по критерию $K > 9,0$ и только для тех дат, когда указанная "ступенька" отсутствует. Что касается отдельных погрешностей с $\Delta H \leq 20$ см из числа февральских серийных ошибок на станциях Рубцовск, Кызыл, Тайшет (в таблице 2 отличаются несовпадением случаев по обоим критериям), то они должны быть устранены путем указанного ранее тестирования.

Такой способ комплексации позволяет выявить все ошибки, при этом согласно таблицам 1, 2 необходимо проверить 294 сомнительных значений (238+109-53). Если учесть, что почти половина из них приходится на ст. Кондома, которая характеризуется особыми условиями снегонакопления и для которой следует использовать более жесткий критерий ($\Delta H > 30$), то совершенно очевидно, в целом данный комплексный метод контроля отличается достаточно высокой эффективностью.

Аналогичный подход использован для комплексирования методов по критериям ΔH и Rm (таблица 3). В качестве базового принят также метод "ступенек". Установлено, что ошибки, обнаруженные по обоим критериям, совпадают только до $Rm = 9,0$, в остальных случаях недостаточная чувствительность к ним обоих методов взаимно компенсируется. Поэтому верификацию данных следует проводить по предыдущей схеме, т.е. вначале по $\Delta H > 20$, затем только для $Rm > 9,0$ для ограниченного числа случаев отсутствия "ступенек". Результатом этой комплексации является меньшее количество проверяемых данных (261) при том же числе обнаруженных ошибок.

Сопоставляя оба варианта комплексного контроля ($\Delta H > 20 - K > 9,0$ и $\Delta H > 20 - Rm > 9,0$), можно сделать вывод, что при равной эффективности наиболее оптимальным является второй из них, т.е. использующий сочетание метода "ступенек" (фильтрация междусуточных изменений высоты снежного покрова) с модифицированным способом квантильного анализа (проверка пяти значений с обеих сторон ранжированного ряда).

В заключение отметим, что выполненная работа убедительно показала необходимость верификации региональных баз данных и приведения их в полное соответствие с требованиями качества. Проблема эта приобретает особую актуальность в связи с большим вниманием, которое в настоящее время уделяется вопросам мониторинга и прогнозирования опасных гидрометеорологических явлений для задач адаптации общества к экстремальным проявлениям климатической изменчивости. Проникновение ложного значения в разряд климатического экстремума недопустимо.

Разработанный рациональный способ оценки качества рядов снежного покрова отвечает оптимальным условиям контроля - он достаточно прост в реализации на ПК и, благодаря рекомендациям по регулированию "жесткости" критериев в зависимости от местных физико-географических условий, не требует больших трудозатрат на верификацию данных.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Белая Н.И., Босина М.И. Результаты контроля суточных сумм атмосферных осадков // Труды ЗапСибНИГМИ. 1989. Вып.86. С.36-44.
2. Босина М.И., Кошинский С.Д., Лучицкая И.О. Организация контроля достоверности статистических характеристик температуры воздуха и атмосферных осадков суточного разрешения для Научно-прикладного справочника по климату СССР // Труды ЗапСибНИИ. 1987. Вып.80. С.48-61.
3. Гордин В.А. Обработка метеорологической информации как предмет прикладной
4. математики. 70 лет Гидрометцентру России. // Сб. науч. тр. Гидрометеорол. н.-и. центр РФ, СПб, Гидрометеоиздат. 1999. С.70-79.
5. Копанев И.Д. Климатические аспекты изучения снежного покрова. Л., Гидрометеоиздат, 1982. 231с.
6. Кудряшов А.Н. О методах контроля качества гидрометеорологических наблюдений. Владивосток: ДВНИГМИ, 1988, 23с.
7. Лучицкая И.О. Об уточнении критерия контроля средней суточной температуры воздуха // Труды ЗапСибНИГМИ. 1989. Вып.86. С.27-36.

8. Научно-прикладной справочник по климату СССР. Л., Гидрометеиздат, 1990-1993, серия 3, ч.1-6, вып.20-23.
9. Пичугин Ю.А. К проблеме статистического контроля данных наблюдений за приземной температурой на отдаленных станциях, ч 2 // Метеорология и гидрология. 2001. №.11. С.22-26.
10. Пичугин Ю.А. Многомерные статистические модели в анализе, контроле и прогнозе метеорологических рядов: Автореф. дис. На соиск. уч.ст. докт. физ.-мат. наук. Рос. гос. гидрометеорол. ун-т. СПб, 2002, 34с.
11. Справочник по климату СССР. Л., Гиидрометеиздат, 1969. Ч.4, вып.20, 331с.
12. Сычев А.И. Об одном методе автоматического контроля архива метеорологической информации // Труды ЗапСибНИИ. 1981. Вып.49. С.105-117.
13. Шаймарданов М.З., Степаненко С.Р., Дьяченко В.И. и др. О контроле качества приземной метеорологической информации // Труды ВНИИГМИ-МЦД. 1980. Вып.64. С.46-50.

НАВОДНЕНИЯ В БАССЕЙНАХ РЕК СИБИРИ

1. Причины и географическое распространение наводнений

В пределах Сибири расположены бассейны крупнейших рек России – Оби (с Иртышом), Енисея (с Ангарой) и Лены. Общая площадь водосбора этих рек (8060 тыс. км²). Наводнения на сибирских реках причиняют значительный материальный ущерб и приводят к человеческим жертвам. Они, как правило, наблюдаются во время весеннего половодья. Лишь в верхних частях бассейнов Ангары и Лены возрастает роль дождевых паводков и связанных с ними наводнений.

Экстремально высокий сток половодий вызывается сочетанием следующих условий: дождливая осень, суровая зима, большое снегонакопление, запоздалая холодная весна (или же ранняя весна, но очень дружная) с большим количеством осадков, резкое установление теплой погоды. В этом случае наводнения могут формироваться в результате интенсивного притока талых и дождевых вод. На сибирских реках, текущих в субмеридиональном направлении, увеличивается вероятность образования заторов льда. Вследствие более раннего наступления весны на юге, волна паводка, перемещаясь на север, взламывает прочный ледовый покров [1,10]. Нередко заторы льда образуются на одних и тех же участках рек, что связано с геоморфологическими особенностями строения речного русла: наличием крутых излучин, островов, сужений, порогов.

Степень влияния каждого из перечисленных факторов формирования половодья изменяется по территории и во времени. Например, в одних случаях наводнения в основном связаны с накоплением в течение продолжительной сибирской зимы исключительно больших запасов воды в снежном покрове (при относительно меньшем влиянии других факторов). В других случаях определяющее влияние оказывает выпадение обильных осадков в период снеготаяния, или необычайно высокое предзимнее увлажнение бассейна, которое в сочетании с глубоким промерзанием почвы делает ее водонепроницаемой. Наконец, если совмещаются факторы, благоприятные для высокой водности и

образования заторов льда, наблюдаются наводнения, попадающие в разряд катастрофических. По обеспеченности максимальных уровней воды мы выделяем: катастрофические наводнения обеспеченностью менее 1%, выдающиеся – от 1 до 10%, и высокие – от 10 до 25%.

Сильное влияние на наводнения оказывают водохранилища ГЭС. Так, Е.В.Близняк упоминает о катастрофических и выдающихся наводнениях на реке Енисее у г. Енисейска в 19 веке, которые наблюдались в 1800, 1823, 1824, 1837, 1839, 1841, 1845, 1848, 1853, 1857, 1888 годах. И.Я.Лисер [10] приводит сведения о 14 затороопасных участках на р. Енисей от г. Кызыла до г. Игарки. Однако после строительства Красноярской гидроэлектростанции (1967 г.) на участке Енисея от плотины Красноярской ГЭС до устья р. Ангара весенние заторы льда больше не образуются. Ниже по течению вероятность их образования существенно возрастает.

На р. Ангаре после ввода Братской (1961 г.) и Усть-Илимской (1974 г.) ГЭС заторы образуются только на нижнем 350-километровом участке. Здесь наибольшую опасность представляют наводнения от талых вод при вскрытии с элементами затора льда, с максимальными подъемами уровня воды до 9,0 – 11,0 м (Богучаны, Каменка, Рыбное, Татарка). На притоках Ангара мощные заторы льда с подъемом уровней воды 2,0–10,0 м наблюдаются на Илиме, Уде, Бирюсе, Тасеевой, Ие, Оке, Кове, особенно в их устьевых участках.

В бассейне Лены, где зимы более суровы и развитие половодья и подъем уровня воды протекают интенсивно, отмечаются и наиболее благоприятные условия формирования заторных наводнений, чем на Енисее и, особенно, на Оби. На всем протяжении Лены выделен 51 участок, где часто образуются заторы.

В Обском бассейне наводнения от талых вод и заторов льда отмечены в речных системах Иртыша, Томи и Чулыма. На р. Оби заторы льда образуются на верхних участках, до г. Камень-на-Оби. В среднем и нижнем течении максимальные уровни воды часто наблюдаются уже после окончания ледохода и имеют снегодождевое происхождение.

Суммарный ущерб от наводнений увеличивается, во-первых, если наводнения повторяются часто, и, во-вторых, если они одновременно охватывают

обширную территорию. За последнее столетие отмечены отдельные случаи экстремально высоких половодий, в большей или меньшей степени одновременно охватывающих бассейны Оби, Енисея и Лены (таблица 1). В этих случаях сочеталось действие всех или большинства факторов, вызывающих наводнения. Такие наводнения можно назвать «территориальными», в отличие от «локальных», которые формируются на отдельных участках рек и на ограниченной территории.

Таблица 1

Территория распространения катастрофических, выдающихся и высоких наводнений на сибирских реках за период инструментальных наблюдений

Год	Характеристика наводнений и территория их распространения
1941	Катастрофические и выдающиеся в бассейне Оби и Енисея; высокие и средние в бассейне Лены
1948, 1947	Катастрофические и выдающиеся в южной тайге и заболоченной лесостепи Западно-Сибирской равнины. В 1947 г катастрофический затор на р. Томи у г. Томска с подъемом уровня воды более 10 м., заторы на участках Енисея и его притоков
1958	Выдающиеся и высокие в бассейне Верхней Оби, Лены, средние в бассейне Енисея, средние и низкие в бассейне среднего и нижнего течения Оби
1966	Высокие в бассейне Верхней Оби и в бассейне Енисея, средние в бассейне среднего и нижнего течения Оби и в бассейне Лены
1969	Катастрофические, выдающиеся и высокие в бассейнах Верхней Оби и Енисея, средние в бассейне среднего и нижнего течения Оби и в бассейне Лены
1999, 1998	Катастрофические и выдающиеся только в южной тайге и заболоченной лесостепи Западно-Сибирской равнины, на остальной территории средние и низкие. Катастрофический затор на р. Енисей у с. Ворогово в 1999 г
2001	Выдающиеся и высокие по всей территории бассейнов Верхней Оби, Енисея, и Лены, кроме Западно-Сибирской равнины. Выдающийся затор льда на р. Лене у г. Ленска

2. Характеристика наводнений, одновременно охватывающих большие территории (территориальные наводнения)

Территориальные наводнения за рассматриваемый семидесятилетний период наблюдений повторялись редко, в среднем один раз в 20-25 лет. Территориальные наводнения могут формироваться в период весеннего половодья в том случае, когда на обширной территории проявляется воздействие факторов высокой

водности. Наблюдаемые одновременно заторы льда создают неравномерность подъемов уровней воды на их общем высоком фоне. По этой причине на разных реках и участках рек могут наблюдаться как высокие, так и выдающиеся, а так же катастрофические наводнения. Вероятность наступления территориальных наводнений от дождевого стока исключительно мала из-за большой пространственной неравномерности выпадения дождей.

2.1. Наводнения в 1941 г.

В качестве примера катастрофических и выдающихся наводнений, одновременно охвативших территорию двух крупнейших бассейнов – Оби и Енисея, рассмотрим половодье 1941 года. Ему предшествовала дождливая осень и теплая многоснежная зима с интенсивной циклонической деятельностью. Запасы воды в снеге перед началом снеготаяния достигли 150-200 % нормы. Весна, в отличие от зимы, была холодной, и характеризовалась выпадением большого количества осадков. Переход температуры воздуха через 0°C произошел в поздние сроки, потепление было интенсивным. Заметное таяние снега в горах Южной Сибири началось в середине мая, интенсивное в конце мая – первой декаде июня.

В 1941 г. при прохождении весеннего половодья на реках бассейна Оби отмечены экстремально высокие максимальные расходы и уровни воды. На р. Бие (г. Бийск), р. Оби (г. Колпашево, д. Молчаново и др.) в этом году зафиксированы самые высокие за период наблюдений уровни половодья. Уровни, близкие к наивысшим, занимающие второе место в убывающем ряду, наблюдались на реках южной тайги и заболоченной лесостепи Западно-Сибирской низменности (Чая, Икса, Васюган и другие). Уровни обеспеченностью 1 -15% наблюдались на Чулыме и Томи. На р.Томь у г.Томска максимальный уровень воды поднялся более, чем на 8 м.

Катастрофические и выдающиеся наводнения в 1941 г. сформировались на многих реках бассейна Верхнего и Среднего Енисея, включая Ангору. Уровни воды на Енисее (Кызыл, Минусинск, Красноярск, Казачинское, Енисейск) и на Ангаре (Богучаны и др.) оказались либо наивысшими за период наблюдений, либо близкими к ним. В период с 7 по 17 июня были затоплены

многие населенные пункты, включая города Кызыл, Минусинск, Красноярск, Енисейск.

2.2 Наводнения в 2001 г.

Половодье 2001 г. также является примером выдающегося события, которое формировалось одновременно на обширной территории (бассейны верхнего Енисея и Лены, и в несколько меньшей степени – Верхней Оби). На р. Катунь у с. Сростки (крупнейший приток Оби) максимальный уровень воды оказался наивысшим за период наблюдений (с 1932 г.). На многих реках Алтая и на р. Обь у г. Барнаула наблюдались высокие максимальные расходы и уровни воды обеспеченностью 10–20%.

Наводнение в бассейне Енисея в 2001 году было обусловлено значительным снегонакоплением (130-150% нормы и выше), несколько пониженным фоном температуры воздуха в апреле и достижением рекордно высоких ее значений в мае, что способствовало большей концентрации половодья. Эти особенности заметно сказались на заторном характере вскрытия Енисея и Ангары. Они привели к катастрофическим наводнениям на многих реках в бассейне Верхнего и Среднего Енисея. Особенно сложная гидрологическая обстановка была в бассейне р. Тубы (крупный приток Верхнего Енисея), где 20 мая (пик второй волны) у с. Бугуртак максимальный уровень воды составил 1079 см (опасный уровень - 950 см) и был наивысшим за период наблюдений. На притоках Тубы (Казыр, Кизир, Амыл) максимумы также были наивысшими за период наблюдений и превышали опасные на 1,0 – 1,4 м.

Историческим оказался уровень воды на небольшой реке Каче, впадающей в Енисей у г. Красноярска. Пик половодья на Каче сформировался благодаря последовавшему в первой декаде мая резкому возрастанию температуры воздуха (до 20 градусов и выше) за счет интенсивного таяния снега в лесных возвышенных районах верхнего и среднего течения. В центральной части Красноярска, в том числе в районе высотной застройки, вода вышла на улицы города.

В нижнем течении Ангары вскрытие реки сопровождалось мощными заторами льда. Уровень воды у с. Рыбное 17 мая достиг отметки 536 см, что на 0,8 м выше опасного. На Енисее первая волна прошла 11-14 мая, в результате искусственного разрушения затора льда на нижней Ангаре, и вызвала повышение уровней воды на участке Стрелка - Енисейск на 3 – 5 м. Вторая волна половодья вышла на Енисей также после разрушения затора льда на нижней Ангаре. Дополнительный подъем уровней воды составил на участке Стрелка – Ярцево 2,0 – 2,5 м, максимальные уровни половодья превысили норму на 0,8 - 2,9 м. На р. Енисей в устье Ангары максимальный уровень воды 18 мая составил 952 см (опасный уровень - 800 см) и был наивысшим за период наблюдений. У г. Енисейск максимум наблюдался 19 мая и составил 1158 см (опасный уровень - 910 см) и также был экстремально высоким за период наблюдений. Были подтоплены жилые дома, промышленные предприятия, размыты дороги.

Вскрытие крупного притока Среднего Енисея – реки Подкаменная Тунгуска, носило заторный характер, подъемы уровней воды при этом составили в среднем 2–7 м, а на участке р. Подкаменная Тунгуска ниже фактории Кузьмовка - 11–19 м. Особенно мощным был затор льда в устьевом участке реки. В поселке Суломай максимальный уровень воды оказался наивысшим за период наблюдений и составил 2368 см (18 мая), что на 7,2 м выше опасного. Поселок был полностью затоплен.

В мае 2001 г. сформировался экстремально высокий за период наблюдений приток воды в водохранилища Енисейских ГЭС. В Саяно-Шушенское водохранилище приток составил 4800 м³/с, боковой в Красноярское - 7000 м³/с. Расчеты показывают, что вероятность превышения этих значений составляет около 1%.

Зима 2000–2001 г. в бассейне Лены была исключительно холодной, особенно в Ленском районе. Толщина льда на реках в конце зимы превысила средние многолетние значения. Запасы воды в снежном покрове в бассейне Верхней Лены составили 100-140% нормы. Уровни воды в период ледостава на Средней Лене осенью 2000 г. были экстремально высокими, что указывает на наличие больших скоплений шуги и льда. Все перечисленные условия и резкое

потепление в первой половине мая обусловили почти одновременное формирование 13-14 мая на 800-километровом участке Верхней Лены расходов и уровней воды, близких к историческим. Наиболее грозное явление в 2001 г. было связано с катастрофическим наводнением у г. Ленска, сформировавшимся в результате сложения факторов водности и затора льда. Максимальный уровень воды превысил многолетнее значение на 9,5 м (расчетная обеспеченность 0,1 %). Тридцатитысячный город Ленск был полностью затоплен, в городе разрушено свыше 3000 зданий, 18000 жителей были вынуждены покинуть свои дома [9].

3. Локальные наводнения

Локальные наводнения наблюдаются значительно чаще, чем территориальные. Они формируются на отдельных участках рек или на ограниченной территории на общем фоне средних или низких подъемов воды. Такие наводнения вызваны заторами льда или связаны с выпадением обильных дождей, как в период снеготаяния, так и в летне-осенний период. Заторные наводнения, являющиеся результатом неравномерности проявления ледовых условий по длине реки, помимо постоянно действующих геоморфологических факторов, зависят в значительной мере от особенностей замерзания и характера развития процесса вскрытия реки. Эти вопросы достаточно освещены в литературе. На наш взгляд, следует обратить внимание на участвовавшие случаи заторов, вызываемых выпадением обильных дождей в период снеготаяния, когда ледовый покров еще не успел потерять свою прочность. Резкий подъем уровней воды приводит в действие механический фактор вскрытия с последующим образованием затора. Некоторые случаи подобных наводнений описаны ниже.

3.1 Снегодождевые и заторные наводнения

Локальные снегодождевые и заторные наводнения вызваны заторами льда или выпадением обильных дождей в период снеготаяния. Примером может служить половодье 2004 г. в бассейнах рек верхнего течения Томи и Абакана. В период с 13 по 16 апреля здесь выпало экстремально высокое количество осадков

(90–180 мм). В этот период в лесах еще сохранилось 50-80% накопленного за зиму снега. Среднесуточная температура воздуха во время выпадения осадков и в последующую декаду составляла от -3 до +7 градусов, поэтому выпал снег с дождем. Сформировались катастрофические снегодождевые наводнения с элементами заторов льда в верхнем и среднем течении р. Томи и на ее притоках, где уровни воды оказались наивысшими в многолетнем ряду или близкими к ним, что привело к затоплениям прибрежных территорий и разрушениям. Можно утверждать, что максимальные уровни на реках бассейна Томи оказались бы еще выше, если бы формирование снегодождевого стока происходило на более высоком фоне температуры воздуха при интенсивном снеготаянии. В этом случае, как показали модельные расчеты, половодье в городах Томске, Кемерово, Новокузнецке и всем бассейне по своим последствиям могло бы представлять катастрофическую опасность.

Рассмотрим другой случай выпадения дождей в период снеготаяния, ставший причиной заторных наводнений даже при средних или низких запасах воды в снежном покрове. В бассейне реки Бирюсы в 2005 г. резкого потепления в апреле не наблюдалось, поэтому постепенно освобождавшаяся ото льда Бирюса в среднем течении не приносила вреда населению, пока в третьей декаде апреля не выпал дождь. В верхнем течении реки, где лед еще был прочен, начался ледоход. Ледяные пятиметровые глыбы накрыли деревню Патриху глубокой ночью. Стихия застала людей врасплох. Срочно были эвакуированы жители деревни, большая часть домов полностью разрушена стихией.

Локальное катастрофическое заторное наводнение 1999 года на Енисее у с. Ворогово, расположенного в 394 км от г. Енисейска ниже по течению, формировалось в условиях исключительно резкого потепления весенней погоды и интенсивного снеготаяния. К моменту начала резкого потепления лед не был ослаблен воздействием солнечной радиации, и вскрытие Енисея на рассматриваемом участке началось по наиболее неблагоприятному «заторному» варианту. Произошло быстрое взламывание еще прочного ледяного покрова на реке с остановкой его продвижения в островах и каменных грядах в русле реки в 18 км ниже Ворогово. Превышение уровня воды у с. Ворогово выше критической

отметки достигло 4,6 м. Село на 80% было затоплено, эвакуировано 773 человека, разрушено 25 домов, 9 домов полностью уничтожено.

3.2 Дождевые наводнения

Летне-осенняя межень в бассейнах Оби, Енисея и Лены в отдельные годы нарушается дождевыми паводками. Паводковые наводнения случаются на малых и средних реках и отличаются «пятнистостью» территориального распределения. В бассейне Енисея и, особенно, в южной части бассейна р. Ангары, дождевые паводки в отдельные годы вызывают значительные наводнения. На р. Кан у г. Канска (крупный приток Енисея) максимальный уровень воды паводка 1960 года оказался наивысшим за период наблюдений (с 1933 г.) и примерно на 1 метр превысил высший уровень весеннего половодья. Еще большую территорию охватили паводковые наводнения в 1988 году. Наиболее ярко выражен паводочный режим рек в южной части бассейна р. Ангары (бассейны Иркутка, Китоя, Белой, Оки, Ии и др.), где сток дождевых паводков систематически превышает сток весеннего половодья. В 1980 году в бассейне р. Ии за несколько дней выпало 181 мм осадков, что привело к подъему уровня у г. Тулун до 967 см. Слой стока за паводок составил 95,9 мм. В июле 1984 года дождевой паводок на этой реке сформировал у г. Тулун наибольший за многолетний период максимальный уровень воды (1132 см), вызвав катастрофическое наводнение. Этот горизонт можно назвать историческим: подъем уровня над минимальным меженным был около 10 м.

4. Наводнения природно-антропогенного характера

Наводнения природно-антропогенного происхождения вызваны сбросами воды в нижний бьеф гидроузлов при ликвидации угрозы переполнения водохранилищ. После строительства Красноярской ГЭС затопление г. Красноярска было отмечено в 1972, 1988, 2004 гг. Причиной наводнений во всех случаях явилось выпадение обильных дождей в летний период после прохождения волны весеннего половодья или на ее спаде. Переполнение Енисейских водохранилищ приводило к высоким холостым сбросам воды. Самый выдающийся паводок,

вызвавший наводнение на исследуемом участке, наблюдался летом 1988 г. В этом году формирование экстремально высокого притока в Красноярское водохранилище было вызвано продолжительными дождями (100–150 мм), прошедшими одновременно на обширной территории в третьей декаде июля. В результате общий приток воды в водохранилище вырос с 4700 до 12500 м³/с. Для предотвращения переполнения водохранилища возникла необходимость увеличения сбросов в нижний бьеф Красноярской ГЭС от 3800 до 12000 м³/с. Высокие сбросы ГЭС продолжались до 20 августа. Паводок в нижнем бьефе привел к значительным ущербам: были затоплены строения, унесен лес со сплавных участков, повреждены готовые к отправке комбайны, прекратили работу водозаборы, обеспечивающие водой г. Красноярск.

5. Территориально-временная изменчивость наводнений

Рассмотрим результаты расчетов коэффициентов парной корреляции (R) максимальных расходов воды, которые характеризуют степень синхронности (асинхронности) многолетних колебаний максимального стока (таблица 2).

Таблица 2

Корреляционная матрица максимальных расходов воды

Речной бассейн	р. Обь г. Барнаул	р. Обь г. Колпашево	р. Енисей г. Кызыл	р. Енисей г. Енисейск	р. Лена с. Крестовское
р. Обь-г. Барнаул	1.00				
р. Обь-г. Колпашево	0.30	1.00			
р. Енисей-г. Кызыл	0.38	0.22	1.00		
р. Енисей-г. Енисейск	0.31	0.70	0.30 (0,40)	1.00	
р. Лена-с. Крестовское	-0.02	0.09	0.17	0.18 (0,20)	1.00

Примечание: В скобках приведены коэффициенты корреляции при устранении неоднородности ряда, связанной с влиянием Енисейских ГЭС.

Бассейны Оби и Лены характеризуются отсутствием синхронности колебаний. Слабая корреляция максимального стока р. Оби в пунктах Барнаул – Колпашево объясняется резким различием условий формирования стока в горах Алтая и Западно-Сибирской равнины, а также некоторым регулированием максимального стока половодья водохранилищем Новосибирской ГЭС. Различием условий формирования половодья в горах Саян, плоскогорий Средней Сибири и влиянием регулирования стока Енисейскими водохранилищами объясняется слабая

корреляция максимального стока р. Енисея (Кызыл, Енисейск), но здесь роль регулирующего влияния Енисейских водохранилищ более существенна, чем на Оби. Высокая корреляция максимальных расходов и уровней воды ($R = 0,70$) выявлена для бассейнов Оби у г. Колпашево и Енисея у г. Енисейска.

Ход скользящих средних по пятилеткам показывает тенденцию снижения максимальных уровней воды в последние 30-40 лет не только в нижних бьефах ГЭС на Оби и Енисее (Колпашево, Енисейск), но и на незарегулированных горных частях этих бассейнов (Барнаул, Кызыл). Максимальные уровни воды, помимо фактора водности, определяются заторобразованием, динамикой русловых процессов и антропогенным воздействием (выемка гравийно-песчаной смеси).

В связи с этим рассмотрим ход многолетних колебаний максимальных расходов воды. Для р. Обь у г. Барнаула за последнее столетие ход максимального стока остается более или менее стабильным. Стабильным остается он и для заболоченных рек Западной Сибири (Васюган, Икса). За последние 20-30 лет отмечается тенденция снижения максимального стока рек Томи и Чулыма – многоводных притоков р. Обь, впадающих в нижнем бьефе водохранилища Новосибирской ГЭС. Это обстоятельство, а также некоторое регулирование максимального стока Новосибирским водохранилищем и забор воды на нужды орошения могут быть причиной выраженной тенденции снижения максимального стока и прекращения наводнений на этом участке р. Обь (г. Колпашево).

В бассейнах Енисея и Лены многолетние колебания характеристик максимального стока также остаются более или менее стационарными. Тенденция снижения максимального стока на участке р. Енисея ниже Красноярской ГЭС (г.Енисейск) становится заметной после 1966 г., и связана с регулированием стока Енисейскими водохранилищами.

Анализ повторяемости катастрофических, выдающихся и высоких половодий по десятилетиям показывает, что в бассейне Оби наибольшее их число наблюдалось в 1916-1925 и 1926-1935 гг. (р. Бия у г. Бийска –12, р. Обь – г. Барнаул – 10, р. Обь у г. Колпашево –13). Данные по 13 пунктам наблюдений за период с 1936 по 2004 год дают следующую картину для всей рассматриваемой территории по десятилетиям: наибольшая повторяемость наводнений отмечена в 1936-1945 и 1966-1975 гг., наименьшая – в 1976-1985 и 1986-1995гг. (таблица 3).

Таблица 3

**Повторяемость наводнений в бассейнах Оби, Енисея и Лены
по десятилетиям за период 1936-2005 гг.**

Десятилетие	1936- 1945	1946- 1955	1956- 1965	1966- 1975	1976- 1985	1986- 1995	1996- 2005	1936- 2005
Число наводнений(%)	18.2	15.3	12.0	17.2	10.5	10.5	16.3	100

В бассейнах средних рек, не затронутых хозяйственной деятельностью, количество катастрофических, выдающихся и высоких наводнений в одном пункте за последние 70 лет изменяется от 15 до 20, т.е. наводнения повторяются в среднем через 4-5 лет. На зарегулированных участках Енисея и Оби за последние 30-40 лет такие наводнения не наблюдались.

Из рассмотрения корреляции максимального стока и уровней воды и графиков временного хода этих характеристик следует, что согласованность в ходе наводнений в Сибири четко прослеживается в пределах ограниченных по площади районов. При расстояниях между центрами тяжести сравниваемых речных бассейнов 150-200 км и более корреляция максимального стока постепенно затухает. Случаи одновременного наступления наводнений в бассейнах Оби и Лены имеют исключительно малую вероятность. В редких случаях могут одновременно наступать наводнения в бассейнах Оби и Енисея, или Енисея и Лены.

Наиболее вероятны локальные наводнения на отдельных участках рек или на ограниченной территории. Степень территориального охвата зависит от действия конкретных причинных факторов.

Пространственная корреляционная функция максимального стока весеннего половодья убывает медленнее, чем корреляционная функция для дождевых максимумов. Особенно медленно убывает корреляция максимального стока в междуречье Обь-Иртыш в западном и юго-западном направлении [6]. Здесь коэффициенты парной корреляции опускаются до 0,6 на расстоянии 450-500 км. Примерно в 1,5-2 раза быстрее падает корреляция максимального стока весеннего половодья в бассейнах Енисея и Лены. Пространственные корреляционные функции максимального дождевого стока убывают с ростом расстояния еще интенсивнее. По этой причине синхронность колебаний максимального стока

снеговых половодий проявляется в пределах более обширных районах, чем в случае дождевых паводков.

6. Разработка и реализация системы прогноза наводнений в бассейне Оби и Енисея

В процессе разработки моделей стока сибирских рек, ориентированных на применение в гидрологических прогнозах, необходимо учитывать крайне ограниченное информационное гидрометеорологическое обеспечение. В этих условиях на практике получили развитие модели, оперирующие с некоторыми осредненными по территории укрупненными показателями, отражающими в обобщающем виде реально протекающие природные процессы.

Модель прогноза стока, реализованная для сибирских рек, рассматривается в работах [2-5,7]. Модель учитывает как метеорологические параметры (снегонакопление, температуру воздуха, осадки), так и гидрологические (уровни или расходы воды в речной сети бассейна). В обобщенном виде структура модели представлена на рисунке 1.

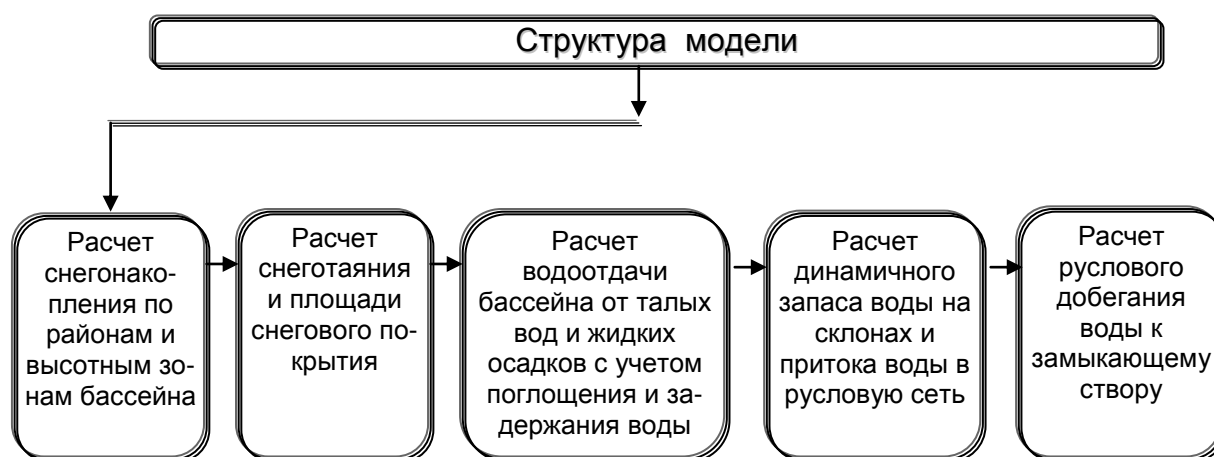


Рисунок 1. Структура модели прогноза стока

Территориальное многообразие процессов стока учитывается путем выделения в бассейне ландшафтно-гидрологических районов. В горных условиях в каждом районе учитывается высотная поясность через выделение высотных зон. В пределах высотной зоны территориальная неравномерность распределения запасов

снега и емкостного поглощения воды учитывается с помощью распределений вероятности [5,7,11].

В основе подмодели динамичной составляющей склонового притока в русловую сеть $q(t)$ лежит концепция динамичного (гравитационного) запаса воды $W(t)$ на склонах, связанного с $q(t)$ в общем случае не линейно [4, 5, 7]:

$$W(t+1) = W(t) + \varphi(t) (h - Z - I)_{t+1} - q(t+1), \quad (1)$$

$$q(t+1) = \alpha [W(t+1)]^p, \quad (2)$$

где t - время; $\varphi(t)$ - относительная действующая площадь, в пределах которой происходит пополнение динамичного запаса воды (изменяется от нуля в состоянии высыхания бассейна, до $(1-\omega)$ при насыщении почвы водой); ω - доля постоянно бессточной площади в бассейне; h - слой подачи дождевой (талой) воды за расчётный интервал; Z - испарение; I - впитывание, связанное с пополнением базисного стока и определяемое по расходу воды Q_{min} в конце кривой истощения ($I = 86.4Q_{min}/F$, мм/сут); α - переменный коэффициент, учитывающий гидравлические условия и другие факторы; p - показатель степени; F - площадь водосбора.

В период поступления воды на водосбор $\varphi(t)$ определяется по емкостной модели водопоглощения Е.Г.Попова [17]. Параметр поглощения талых вод (максимальные потери) определяется по эмпирической зависимости от косвенных показателей предшествующего увлажнения бассейна. Ход испарения задается по средним многолетним данным, либо по одной из известных расчетных формул. В период истощения склонового стока учитывается процесс снижения действующей площади $\varphi(t)$ по мере истощения запасов воды на склоне.

Более детальная модель склонового притока основана на его представлении в виде суммы трех составляющих («трех-объемная трансформация»): 1) «динамичный», т.е. поверхностный, а также быстрый почвенно-грунтовый приток (q); 2) «медленный» (q_m) поверхностный и почвенно-грунтовый приток; 3) «базисный», устойчивый приток, с постоянным расходом воды Q_{min} , на который выходит кривая истощения (спада).

Русловая трансформация склонового притока рассчитывается с помощью интеграла свертки

$$Q(t + \Delta t) = \left[\sum_{i=1}^n \int_0^{\Delta t} q_i(t + \Delta t - \tau) f_{q_i}(\tau) d\tau \right] + Q_w(t + \Delta t) + Q_{min},$$

(3)

где $Q(t + \Delta t)$ – расход воды в замыкающем створе; t – дата выпуска прогноза; Δt – заблаговременность прогноза; n – число ландшафтно-гидрологических районов, на которые разбит речной бассейн; $q_i(t)$ – суммарный приток в русловую сеть с i -ого района; $f_{q_i}(\tau)$ – кривая добегания бокового притока с i -ого района (функция влияния) [3, 4, 5, 7]; $Q_w(t + \Delta t)$ – составляющая расхода воды, обусловленная истощением начального (на момент t) запаса воды в русловой сети; Q_{min} – устойчивое (базисное) питание реки.

Функция влияния рассматривается как плотность распределения времени добегания элементарных объемов воды в гидрологической системе. Для её аппроксимации используются функции плотности распределения вероятностей (гамма-распределение, распределение Бровковича или Крицкого-Менкеля [3,4,5]). Моменты оцениваются на основе теоретических зависимостей. Простейшие формулы моментов получены для случая бесприточного участка реки [2,3]. Пусть $\bar{\tau}_L = L / v$ – среднее время добегания на участке реки длиной L , v – средняя скорость добегания. В этом случае (бесприточный участок реки) среднее квадратичное отклонение времени добегания элементарных объёмов воды (σ_τ) пропорционально $\sqrt{\bar{\tau}_L}$, коэффициент вариации времени добегания C_v пропорционален $(1/\sqrt{\bar{\tau}_L})$, а третий центральный момент (M_3) пропорционален $\bar{\tau}_L$, т.е.

$$\bar{\tau}_L = L / v, \quad \sigma_\tau = a \sqrt{\bar{\tau}_L}, \quad C_v = a / \sqrt{\bar{\tau}_L}, \quad M_3 = k a^2 \bar{\tau}_L. \quad (4)$$

В приведённых формулах a – параметр продольного рассеяния; k – отношение коэффициента асимметрии к коэффициенту вариации времени добегания элементарных объёмов воды (k может приниматься равным трём). Начальные моменты кривой добегания бокового притока (m_r), поступающего на участок реки, речной системы или всего бассейна, выражаются интегралом [3, 4]

$$m_r = \int_0^{\bar{\tau}_L} m_r(\bar{\tau}) p(\bar{\tau}) d\bar{\tau}, \quad (5)$$

где m_r - начальный момент r -ого порядка ($r=1,2,3$) времени добегания бокового притока; $m_r(\bar{\tau})$ - то же для бокового притока, поступающего на расстоянии $x = \bar{\tau} v$ от замыкающего створа ($\bar{\tau} = x / v$); $\bar{\tau}_L = L/v$; L - расстояние от замыкающего до верхнего створа (или до наиболее удаленного истока); $p(\bar{\tau})$ - функция плотности распределения времени добегания бокового притока по длине ($x = \bar{\tau} v$) рассматриваемой реки или речной системы (момент $m_r(\bar{\tau})$ определяется по приведённым выше формулам моментов бесприточного участка с использованием уравнений связи начальных и центральных моментов). В работах [3,4,5,7] приводятся расчётные формулы моментов кривых добегания, полученные на основе интеграла (5) для различных частных задач.

Выразив запас воды в русловой сети в зависимости от высот уровней воды $H_i(t)$ в пунктах наблюдений речной системы, получим следующее уравнение [7]:

$$H(t+\Delta t) = [c_0 \sum \int_0^{\Delta t} q_i(t+\Delta t-\tau) f_{qi}(\tau) d\tau + \sum c_i (H_i(t) - H_{i\min})^{y1} + \sum c_{i+n} (H_i(t) - H_i(t-1))^{1/y2}] + H_{\min},$$

(6)

где: H - прогнозируемый уровень воды в замыкающем створе; c_i , $y1$, $y2$ - коэффициенты; $H_{i\min}$ - минимальный уровень воды в i -том пункте речной системы, принятый за условный нуль отсчета; $H_{\min}$ - то же в замыкающем створе.

Параметры, входящие в формулы отдельных блоков модели, определяются сочетанием методов оптимизации и линейной регрессии. Спутниковая информация о распределении площади снегового покрытия бассейна по высотным зонам используется для оптимизации параметров модели и для текущей коррекции прогнозов [8]. Результаты прогноза, - ежедневные уровни воды на реках бассейна Енисея и Оби и приток воды в водохранилища Саяно-Шушенской, Красноярской и Новосибирской ГЭС.

В основу долгосрочных прогнозов максимальных уровней воды на затороопасных участках рек Сибири положены исследования Л.Г. Шуляковского [12], показавшего возможность использования для этой цели регрессионных моделей, учитывающих факторы, наиболее полно характеризующие условия формирования максимальных уровней воды. Конкретный набор предикторов и вид регрессионных уравнений индивидуальны для каждого участка реки в связи с различием условий заторообразования. Наряду с известными характеристиками, такими как

максимальный уровень воды в начале ледостава (характеризует наличие шуго-ледяных «пробок» в русле), толщина ледяного покрова, запасы воды в снежном покрове (показатель объема половодья) и другими, учитываются также условия, связанные с изменением водного и теплового режима рек после создания ГЭС. После создания на Енисее высоконапорной плотины Красноярской ГЭС, в нижнем бьефе ежегодно образуется полынья, минимальная длина которой изменяется по годам от 60 до 300 км в зависимости от суровости зимы. Одним из комплексных показателей теплового состояния реки является температура воды ниже плотины, а также расстояние до кромки ледостава, либо величина продвижения кромки льда за некоторый фиксированный период времени. Сроки наступления и продолжительность ледостава в пунктах, расположенных на небольшом расстоянии от кромки, являются репрезентативными комплексными гляцио-гидрологическими показателями.

Например, на участке р. Енисей у г. Енисейска максимальный уровень воды наступает, как правило, на 10-40 дней после прохождения ледохода и связан с величиной и интенсивностью поступления воды с промежуточной площади водосбора ниже Ангара-Енисейских ГЭС. Приведем в качестве примера уравнения для прогноза максимального уровня воды (H_{Emax}) у г. Енисейска. Здесь средняя дата наступления H_{Emax} – 11 мая; крайние - 28 марта и 30 мая.

1. Уравнение для выпуска прогноза в конце марта:

$$H_{Emax} = 2.517 * S_E + 5.052 * \Delta T_1 + 252.2 ,$$

показатели точности: $R = 0.853$, критерий качества прогноза $S/\sigma = 0.519$;

2. Уравнение для выпуска прогноза в конце апреля:

$$H_{Emax} = 2.304 * S_E + 3.669 * \Delta T_1 + 5.286 * X_1 + 185.0 ,$$

показатели точности: $R = 0.894$, критерий качества прогноза $S/\sigma = 0.454$;

Описание переменных уравнений даны в таблице 4.

Таблица 4

Описание переменных и обобщенных показателей в уравнениях

Обозначение	Смысловое значение	Т – статистика, формула (1), (2)
S_E	$S_E = (S_1 + S_2 + S_3 + S_4 + S_5)/5$ – показатель снегонакопления, где S_1 –запас воды в снеге на 20 марта, Щетинкино; S_2 –запас воды в снеге на 20 марта, Артемовск; S_3 –запас воды в снеге на 20 марта, Чуня; S_4 –запас воды в снеге на 20 марта, Ильинка.	7,1; 7,2
ΔT_1	Разность сроков вскрытия р. Енисей – пос. Стрелка и р. Енисей – с. Казачинское (в годы, когда ледостав в с. Казачинское не устанавливается, ΔT_1 принимается равным продолжительности периода ледостава р. Енисей у пос. Стрелка)	5,3; 3,8
X_I	$X_I = 0.56 * X_{III} + 0.44 * X_{IV}$, где X_{III}, X_{IV} – сумма осадков за март и апрель (пос. Стрелка)	2,9

В представленных уравнениях показатель ΔT_1 характеризует интенсивность поступления воды к створу г. Енисейска.

Рассмотрим методику прогноза максимального уровня воды р. Енисей у д. Подкаменная Тунгуска ($H_{III}max$), расположенной на 2 км ниже устья реки Подкаменная Тунгуска. В этом створе максимальные уровни воды бывают как заторного, так и не заторного происхождения. Средняя дата вскрытия 21 мая; крайние - 30апреля (1997), 7 июня (1980). Сроки наступления H_{max} весеннего половодья в 70% случаев совпадает с началом ледохода.

Уравнение для выпуска прогноза в конце второй декады марта имеет вид:

$$H_{III}max = 3.914 * S_{III} - 2.334 * \Delta H_1 - 1.668 * L_1 - 5.245 * D_2 + 2021.1,$$

$$R = 0.898, S/\sigma = 0.475 \text{ (обозначения в таблице 5).}$$

Таблица 5

Описание переменных и обобщенных показателей

Обозначение	Смысловое значение	Т-статистика
$S_{ПТ}$	$S_{ПТ} = (0,65 \cdot S_3 + 0,35 \cdot S_5)$ – показатель снегонакопления, где S_3 – запас воды в снеге на 20 марта, Чуя; S_5 – запас воды в снеге на 20 марта, Ванавара	4,1
ΔH_1	ΔH_1 – разность уровней воды в пунктах р. Енисей – д.Бахта и р. Енисей – с. Ворогово на момент начала ледовых образований осенью	-6,5
L_1	Минимальное за зиму расстояние кромки ледостава от г. Красноярска	-4,1
D_2	Дата наступления ледохода р. Енисей – с. Казачинское (число дней от 1 января); средняя дата ледохода –15 марта	-5,0

Комплексный показатель ΔH_1 характеризует пропускную способность участка реки. Показатель L_1 характеризует суровость зимы, следовательно, толщину и прочность льда. Комплексный показатель D_2 характеризует условия весны.

Аналогичные методики разработаны для Среднего Енисея (Енисейск, Назимово, Ярцево, Ворогово, Бор), Нижней Ангары (Богучаны, Каменка, Рыбное, Татарка), реки Тасеевой (Машуковка), для нескольких рек бассейна Томи.

Важно подчеркнуть, что благодаря включению в рассматриваемые уравнения характеристик, учитывающих заторообразование, имеется возможность предсказывать максимальные уровни как заторного, так и не заторного происхождения по одному и тому же уравнению с заблаговременностью до одного месяца и больше. Полученные результаты используются в последние годы в прогностической практике.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бузин В.А. Заторы льда и заторные наводнения на реках. Санкт-Петербург: Гидрометеиздат, 2005. 203 с.
2. Бураков Д.А. Предвычисление гидрографа весеннего половодья заболоченных рек в южной части лесной зоны Западно-Сибирской низменности // Метеорология и гидрология. 1966. № 1. С.42–46.

3. Бураков Д.А. К оценке параметров уравнений, аппроксимирующих кривую руслового добегаания // Водные ресурсы. 1978. №4. С.21–24.
4. Бураков Д.А. Кривые добегаания и расчет гидрографа весеннего половодья. Томск: Томский госуниверситет, 1978. 129 с.
5. Бураков Д.А. Математическая модель расчета гидрографа весеннего половодья для равнинных заболоченных бассейнов // Метеорология и гидрология. 1978. № 1. С.49–59.
6. Бураков Д.А. Факторы и закономерности пространственной корреляции максимального стока рек Западно-Сибирской равнины // Формирование водного баланса территории. М.: АН СССР, Институт географии, 1980. С. 152-162.
7. Бураков Д.А., Авдеева Ю.В. Технология оперативных прогнозов ежедневных расходов (уровней) воды на основе спутниковой информации о заснеженности (на примере р. Нижней Тунгуски) // Метеорология и гидрология. 1996. №10. С.75–87.
8. Бураков Д.А., Кашкин В. Б., Сухинин А. И., и др. Методика определения заснеженности речного бассейна по спутниковым данным для оперативных прогнозов стока // Метеорология и гидрология. 1996. № 8. С.100–109.
9. Кильмянинов В.В. Катастрофическое наводнение на р. Лене у г. Ленска в 2001 г. // Метеорология и гидрология. 2001. № 12. С.79-83.
10. Лисер И.Я. Весенние заторы льда на реках Сибири. Ленинград: Гидрометеиздат, 1967. 104 с.
11. Попов Е. Г. Вопросы теории и практики прогнозов речного стока. Москва: Гидрометеиздат, 1963. 256 с.
12. Шуляковский Л.Г., Еремина В.А. К методике прогноза заторных уровней воды // Метеорология и гидрология. 1952. №1. С.46-51.

*О.В. Тасейко, С.В. Михайлюта, Ю.В. Захаров,
В.Г. Суховольский, А.А. Леженин*

РАСЧЕТ ВЕТРОВЫХ ХАРАКТЕРИСТИК В ПРИЗЕМНОМ СЛОЕ АТМОСФЕРЫ НА НЕОДНОРОДНОЙ УРБАНИЗИРОВАННОЙ ТЕРРИТОРИИ

1. Введение

При исследовании процессов переноса примесей в приземном слое атмосферы на территории города необходимо учитывать характеристики городской застройки [2]. Такими характеристиками, определяющими ветровой режим на урбанизированной территории, являются плотность застройки, размеры строений (высота, ширина и длина зданий) и способ их расположения.

В данной работе для получения характеристик застройки предложен метод зонирования, позволяющий представить неоднородную городскую территорию в виде набора «квазиоднородных зон», каждая из которых имеет определенные характеристики.

Для получения ветровых характеристик каждой выделенной территории использовалась полуэмпирическая математическая модель переноса атмосферных примесей в условиях города [1].

2. Характеристики городских территорий

2.1. Зонирование урбанизированной территории

С целью исследования влияния параметров застройки на ветровые потоки и перенос атмосферных примесей в условиях города, используя технологию ГИС, было проведено зонирование территории промышленного центра г. Красноярска.

Для количественного описания распределения объектов (строений) на этой территории была построена сетка с размером ячейки, равной средней длине зданий – 100 м, и нанесена на цифровую карту города. Выбранная для зонирования область имела размеры 23,5 на 20 км.

В каждой ячейке сетки подсчитывалась суммарная площадь объектов (строений). При этом плотность застройки P_{ij}^B определялась отношением суммы площадей строений, попадающих в ячейку сетки, к площади ячейки.

$$P_{ij}^B = \frac{\sum_{k=1}^{m_{ij}} S_{ij}^k}{S} \cdot 100\%, \quad i=1, \dots, 235; j=1, \dots, 200,$$

(1)

где S_{ij}^k – площадь под k -м строением, принадлежащим ячейке с индексами ij ; m_{ij} – количество строений в ячейке с индексами ij , S – площадь ячейки. Плотность застройки, определенная согласно (1), может принимать значения от 0 до 100%.

В результате вся территория г. Красноярска была представлена в виде матрицы P^B размером 235×200 , элементами которой являются значения плотности застройки.

С помощью технологии ГИС элементы матрицы P^B были объединены в «однородные» по плотности застройки зоны (рисунок 1).

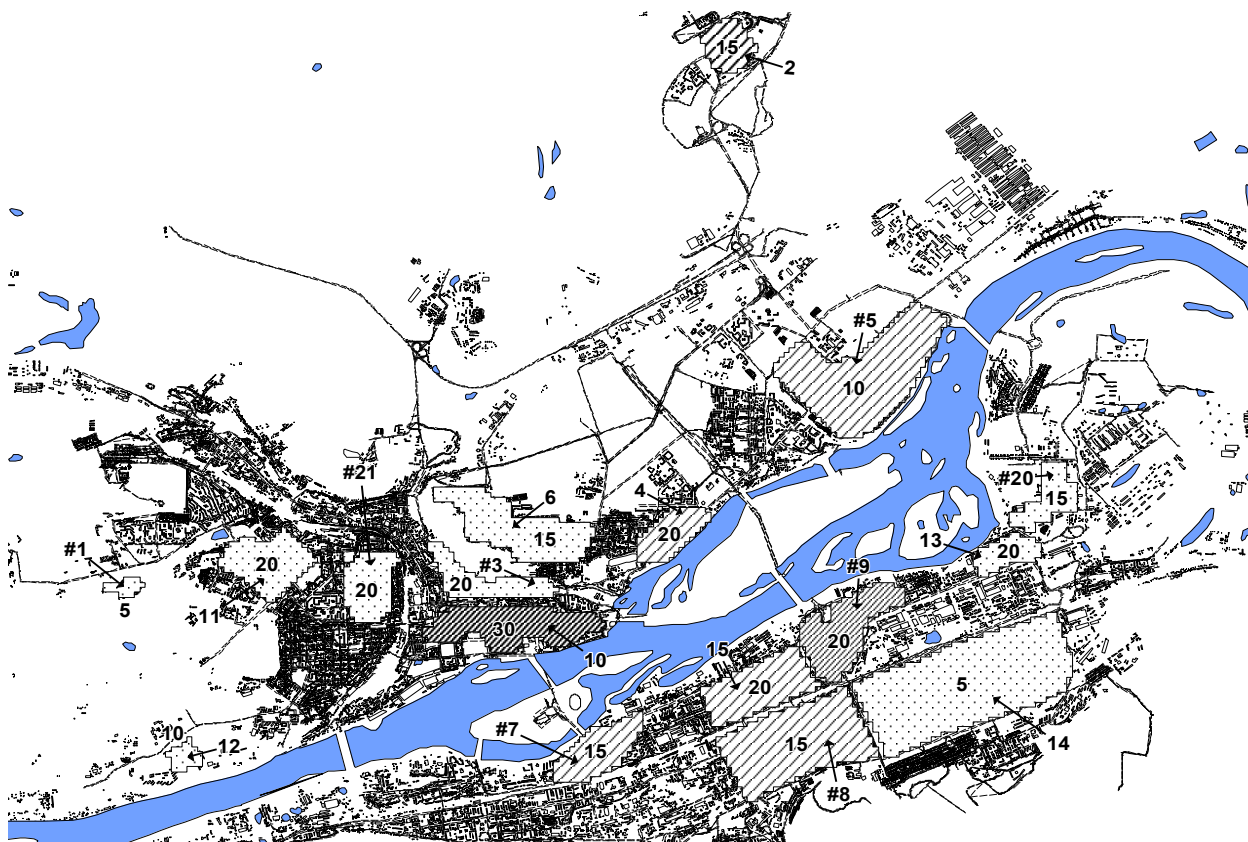


Рисунок 1. Зоны на территории Красноярска. Цифра в центре зоны соответствует плотности

застройки (%). Номера зон, где расположены стационарные посты ЦМС, выделены символом # (при этом номер зоны является номером поста)

Кроме плотности застройки P^B , выделенные зоны (рисунок 1) имеют различный функциональный тип и могут быть охарактеризованы высотой расположения над уровнем моря, средней высотой строений H и шириной пересекающих зону автомагистралей h (таблица 1).

Таблица 1

Характеристики выделенных зон на территории г. Красноярск

№	Номер зоны (Рисунок 1)	Высот а, м н.у.м.	P^B , %	H , м	h , м	Функциональный тип зоны
1	1	220	5	5	10	Селитебный
2	14	140	5	10	25	Промышленный
3	12	260	10	15	30	Селитебный
4	5	180	10	30	30	Транспортный
5	6	260	15	5	20	Селитебный
6	8	140	15	15	25	Селитебный, промышленный
7	2	320	15	30	35	Селитебный
8	7	140	15	30	35	Транспортный
9	20	140	15	30	35	Селитебный, промышленный
10	13	140	20	10	30	Транспортный
11	11	200	20	15	25	
12	3	140	20	15	25	
13	4	160	20	15	50	
14	9	140	20	15	35	
15	15	140	20	15	25	
16	21	180	20	15	20	
17	10	140	30	15	25	

2.2 Типология застройки

Каждая выделенная зона на территории города обладает своими свойствами, поэтому для расчета ветровых характеристик и адекватного описания процессов переноса примеси необходимо исследовать и учитывать аэрографические особенности различных типов застройки.

Одной из характеристик аэрографических свойств является проницаемость территории. Параметр проницаемости территории предложен для оценки продуваемости городской застройки относительно набегающего ветрового потока. Проницаемость является функцией угла между направлением на север и

направлением среднего потока и зависит от типа и плотности застройки окружающей территории [1].

Для характеристики проницаемости городской застройки по аналогии с операциями симметрии в задачах структурного анализа регулярных структур рассмотрим градостроительные конфигурации выделенных на территории г. Красноярска зон (рисунок 2.).

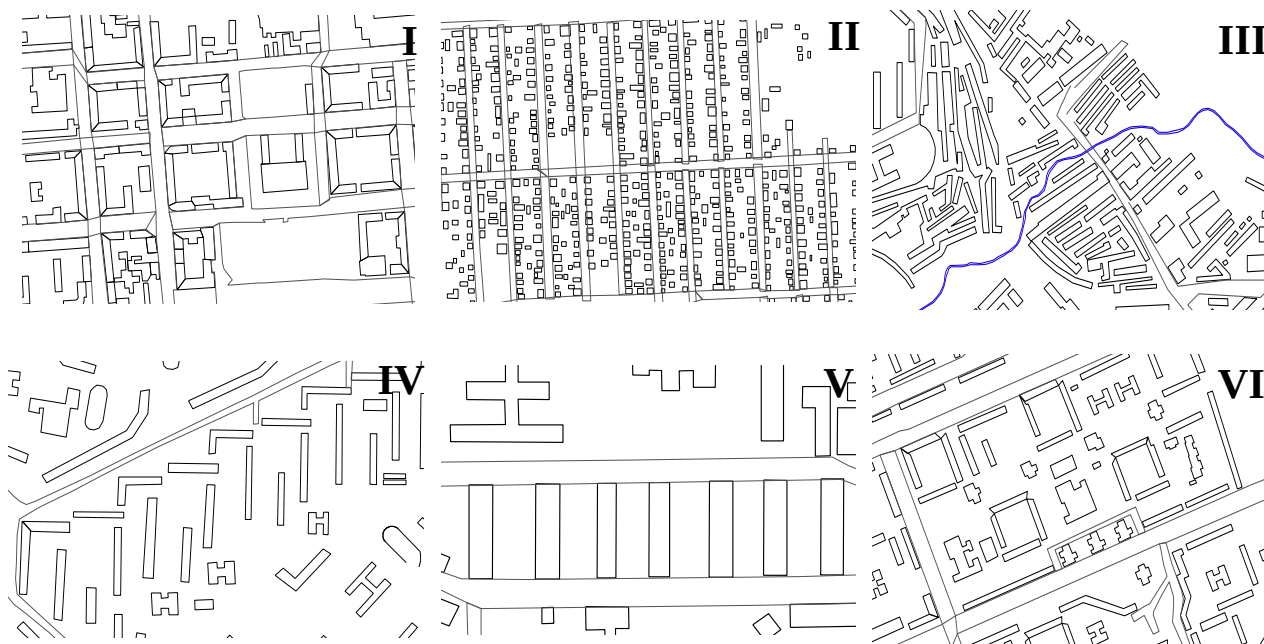


Рисунок 2. Планы типов застройки территорий г. Красноярска, I – тип застройки периметральный (зона 10); II – тип застройки свободный (зоны 3, 6 и 1); III – тип застройки смешанный (зона 20), IV – тип застройки продольно-поперечный (зоны 5 и 7), V – тип застройки поперечный (зона 4), VI – тип застройки периметрально-продольный (зоны 15, 8, 9, 13)

С использованием классификации по типам симметрии, выделенные на территории Красноярска зоны (рисунок 1) были соотнесены с типами застройки (рисунок 2). Была выделена изотропная застройка, застройка с осями симметрии второго и четвертого порядка (оси симметрии перпендикулярны плоскости чертежа).

Застройки II и III типов являются изотропными, проницаемость в такой застройке можно считать постоянной и не зависящей от направления набегающего потока. Территория с осью симметрии второго порядка характеризуется максимальным значением проницаемости вдоль одного направления. К ним относятся застройки IV и V типов. Типы застройки I и VI имеют ось симметрии

четвертого порядка и характеризуются двумя максимальными значениями проницаемости.

2.3. Оценка проницаемости территории

Проницаемость территории $\eta(\varphi)$ является функцией от направления движения потока. Для определения проницаемости территории в выбранном направлении считается площадь проекции на плоскость, перпендикулярную этому направлению.

Так, в представленной на рисунке 3 модельной ситуации плоскость А соответствует направлению движения потока 0 градусов, а плоскость В – 45 градусов. При этом, площадь проекции на плоскость А меньше, чем на плоскость В, и является минимальной для данной застройки при любых направлениях. В это же время площадь проекции на плоскость В является максимальной для данной территории. Следовательно, в направлении 0 градусов данный тип застройки обладает наибольшей проницаемостью, а в направлении 45 градусов – наименьшей.

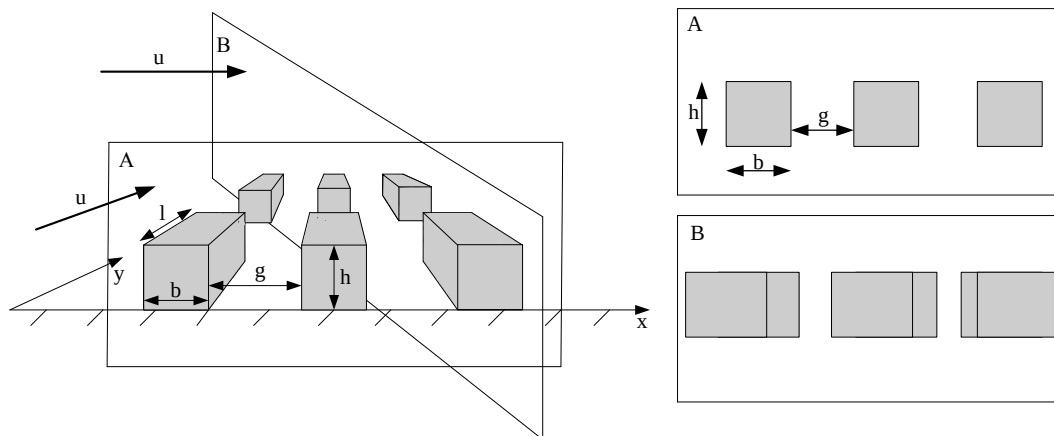


Рисунок 3. Расчет проницаемости городской застройки

Для каждого из 6 типов застройки, рассмотренных на рисунке 2, была оценена проницаемость территории в зависимости от направления ветра, меняющегося от 0 до 180 градусов (рисунок 4). Расчет выполнялся для оцифрованного плана застройки г. Красноярска с помощью средств MapInfo v. 6.0.

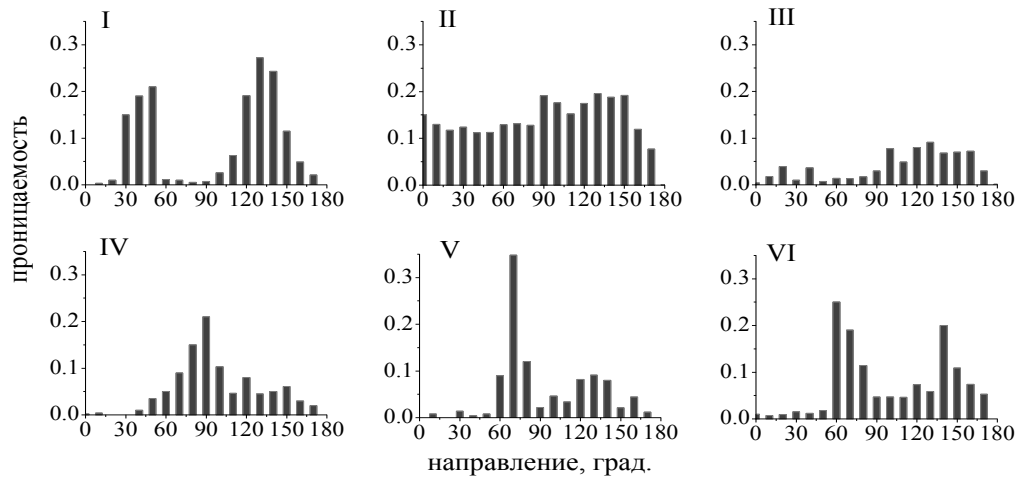


Рисунок 4. Проницаемость территорий с различными типами застройки

Проницаемость фактически является характеристикой эффективного сопротивления территории и принимает значения от 0 до 1. Значение 0 в некотором направлении соответствует тому, что вероятность адвекции примеси в этом направлении близка к 0, а 1 соответствует условиям, при которых поток в данном направлении не встречает никаких препятствий, то есть является фактически невозмущенным. Для застройки типа III наблюдается низкая и практически одинаковая для любого направления потока проницаемость. В застройке II типа распределение проницаемости по направлениям такое же, как и в III типе, но значения выше, поскольку плотность застройки этой территории ниже. Тип застройки I характеризуется наибольшей проницаемостью северо-западного и юго-западного направлений ветра, которые соответствуют направлениям автомагистралей на этой территории. Для остальных направлений ветра эта территория обладает очень низкой проницаемостью, то есть примесь от источника (автомагистрали) в застройку практически не будет попадать. Распределение проницаемости в зависимости от направления для IV и V типов застройки имеет общую особенность – одно направление максимальной проницаемости. В V типе застройки наблюдается максимальное значение проницаемости $\eta = 0.348$ для юго-западного направления ветра. Кроме того, отличные от 0 значения проницаемости соответствуют западному и юго-западному направлениям. Во всех остальных направлениях проницаемость близка к нулю. В IV типе застройки наибольшее

значение проницаемости также соответствует юго-западному направлению. Для застройки VI типа характерно два максимума проницаемости, как и в I типе застройки, но величина этих максимумов в VI типе меньше.

Такие значительные различия в проницаемости являются одной из причин неоднородности пространственно-временной структуры полей концентраций в условиях городской застройки. Как видно из рисунка 4, проницаемость любого типа застройки далека от своего возможного максимального значения 1, то есть городская застройка значительно трансформирует и замедляет воздушный поток, набегающий на город.

3. Расчет ветровых характеристик на городской территории в зависимости от плотности застройки и проницаемости

В городской застройке можно выделить вертикальную и горизонтальную составляющие ветрового потока. Для описания вертикальной составляющей необходимо учитывать, что в приземной атмосфере в условиях города наблюдается динамическая турбулентность, которая возникает вследствие деформации воздушного потока. Деформация выражается, с одной стороны, в замедлении горизонтальной составляющей набегающего ветрового потока, вызываемом эффективным сопротивлением строений на городской территории, а с другой стороны – в увеличении вертикальной составляющей скорости. Такие вертикальные движения в пределах городской застройки могут быть значительно выше, чем на открытой территории, поэтому при оценке трансформации потока на урбанизированной территории их учет достаточно важен. При этом описание ветровых характеристик в городской застройке можно получить с помощью простых полуэмпирических соотношений.

Горизонтальная скорость в городской застройке пропорциональна скорости набегающего на город невозмущенного ветрового потока U_h и зависит от коэффициента замедления K_f

$$u = U_h (1 - K_f).$$

(2)

Значения скорости невозмущенного ветрового потока, набегающего на городскую застройку, можно получить по данным температурно-ветрового зондирования, путем специальных измерений над крышами строений и с использованием мезометеорологических моделей циркуляции атмосферы для городской территории.

Коэффициент замедления учитывает такие параметры городской застройки, как высота и ширина зданий [2]. В данной работе коэффициент преобразован к виду, учитывающему плотность застройки и проницаемость территории:

$$K_f = \sqrt{C_{ds} + 0.5 \cdot C_{dh} \cdot (1 - \eta) \cdot P_B \cdot \sum \frac{h}{b}},$$

(3)

где C_{ds} и C_{dh} - коэффициенты сопротивления поверхности и застройки, P_B - плотность застройки, h , b - средняя высота и ширина зданий соответственно, η - проницаемость территории. Значения констант $C_{ds} = 0.003$ и $C_{dh} = 0.6$ определены с помощью экспериментов в аэродинамической трубе [3].

Используя полученные соотношения, рассмотрим снижение скорости ветра в различных типах городской застройки, выделенных на территории г. Красноярска (рисунок 5). Видно, что наибольшее снижение горизонтальной скорости ветра по сравнению со скоростью набегающего ветрового потока наблюдается в застройке III типа (высокие девяти этажные здания, низкая проницаемость).

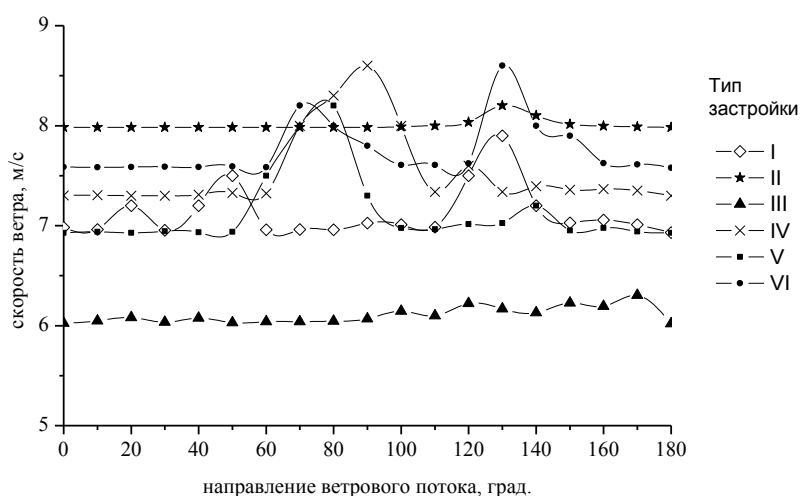


Рисунок 5. Снижение горизонтальной составляющей скорости ветра в зависимости от направления для различных типов застройки. Скорость набегающего ветрового потока 10 м/с.

Рассмотрим подробнее влияние плотности застройки, высоты строений и проницаемости на снижение скорости ветра на городской территории (рисунок 6).

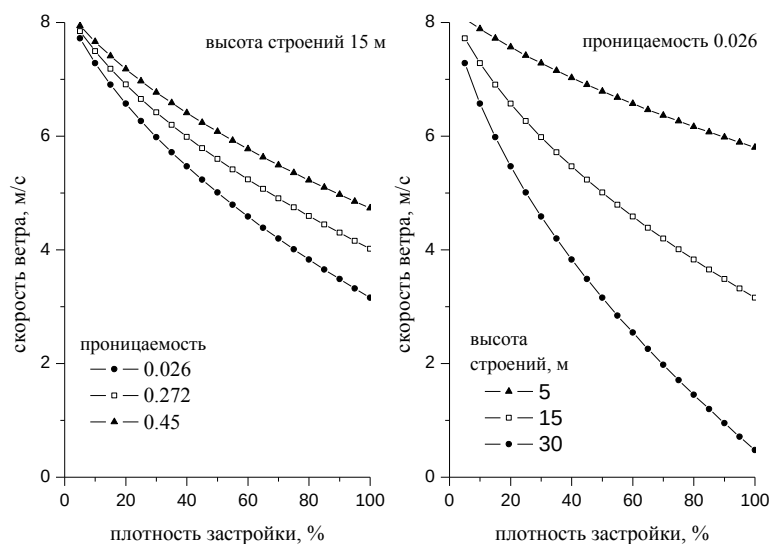


Рисунок 6. Влияние плотности застройки и проницаемости на ветровые характеристики внутри городской территории. Скорость набегающего ветрового потока 10 м/с.

Можно видеть (рисунок 6), что увеличение плотности застройки и снижение проницаемости приводит к понижению скорости ветра на городской территории. При этом увеличение высоты застройки дает больший вклад в снижение скорости ветра, чем уменьшение проницаемости. Уменьшение проницаемости в два раза от значения 0.27 до значения 0.45 при постоянной плотности застройки и высоте строений приводит к снижению скорости ветра на 1 м/с, а увеличение высоты застройки с 15 м до 30 м при постоянной плотности и проницаемости территории приводит к уменьшению скорости ветра почти на 3 м/с.

Современное развитие городской среды сопровождается одновременным увеличением плотности и высоты застройки и уменьшением проницаемости. Это приводит к значительному снижению скорости ветра на урбанизированной территории (в отдельных случаях на 9 м/с), и, следовательно, к ослаблению рассеивающей способности атмосферы и увеличению потенциала загрязнения городских территорий.

Заключение

Полуэмпирические подходы к оценке скорости ветра на неоднородной урбанизированной территории с учетом плотности, высоты и проницаемости застройки можно эффективным образом использовать для планирования развития городской среды, оценки потенциала загрязнения городских территорий, управления качеством атмосферного воздуха с целью охраны здоровья населения, а также для прогнозирования антропогенных катастроф на городской территории и поиска эффективных средств защиты от их последствий.

Работа поддержана грантом ККФН-РФФИ «Енисей-2005» № 05-05-97709.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Тасейко О.В., Михайлюта С.В. Моделирование пространственного распределения загрязнителей от автотранспорта в условиях городской застройки // География и природные ресурсы. 2004. Специальный выпуск. С. 180-185.
2. Improved Models for Computing the Roughness Parameters of Urban Areas. D4.4. FUMAPEX Report : SR EVK4-CT-2002-00097. Copenhagen: DMI, 2003. 55 p.
3. Raupach, M.R. Simplified expressions for vegetation roughness length and zero-plan displacement height as functions of canopy height and area index // Boundary-Layer Meteorology. 1994. № 71. P. 211 – 216.

РАСЧЕТ ЦИРКУЛЯЦИИ ВОЗДУХА В ГОРОДСКИХ АГЛОМЕРАЦИЯХ С ЯВНЫМ УЧЕТОМ ЭЛЕМЕНТОВ ЛАНДШАФТА

Ветровой режим над пересеченной местностью формируется за счет внешнего потока, турбулентного перемешивания и вынуждающего влияния рельефа, а также в значительной степени определяется плотностной стратификацией воздушных масс. При неустойчивой стратификации – например, вследствие сильного нагрева подстилающей поверхности в летнее время – в атмосфере развиваются мощные вертикальные токи, обуславливающие перенос приземной субстанции в верхние слои [6]. При движении приземной воздушной массы в условиях устойчивой стратификации формируются два слоя с различными свойствами. Нижний слой, непосредственно прилегающий к подстилающей поверхности, сильно турбулизован из-за влияния неоднородностей, связанных с шероховатостью поверхности, и вертикального сдвига скорости ветра. Это так называемый квазистационарный подслой (приземный слой), в котором вертикальные турбулентные потоки считаются постоянными по высоте. Толщина приземного слоя зависит от типа подстилающей поверхности, силы ветра и при устойчивой стратификации достигает нескольких десятков метров. Именно в пределах этого слоя, как правило, происходит распространение примеси от приземных источников.

Выше расположен слабо турбулизованный атмосферный пограничный слой (АПС), формируемый суточным ходом температуры на подстилающей поверхности. Вертикальные градиенты полей скорости в АПС невелики по сравнению с приземным слоем. Слой, формируемый суточной волной, отделен от вышерасположенной свободной атмосферы инверсионным подслоем. Следовательно, обтекание неоднородностей рельефа при устойчивой стратификации, по сути, соответствует случаю движения тяжелой жидкости, расположенной под более легкой жидкостью.

Постановка задачи

Введем декартову прямоугольную систему координат (x, y, z) , в которой ось z направлена вверх, ось x – на восток, а ось y – на север. Определим область решения в виде параллелепипеда с неровной нижней границей, отражающей неоднородность рельефа подстилающей поверхности

$$0 \leq x \leq L_x, \quad 0 \leq y \leq L_y, \quad \delta \leq z \leq h,$$

где L_x, L_y – размеры области по горизонтали, функция $z = \delta(x, y)$ задает рельеф местности, h – положение верхней границы рассматриваемой области. Если как исходные рассмотреть уравнения гидродинамики несжимаемой жидкости [4], то при характерных горизонтальных масштабах в несколько километров можно считать $L_x \approx L_y \gg h$. Это предположение позволяет принять гипотезу квазистатики и упростить уравнения движения.

Опираясь на факт подобия процессов по вертикали [3, 5], а также на гипотезу о соотношении горизонтальных и вертикальных масштабов, трехмерную структуру искомых полей аппроксимируем в виде представления

$$\Phi(x, y, z, t) = \Phi_1(x, y, t) \cdot \Phi_2(z, t) \quad (1)$$

где вектор функцию Φ_2 будем считать безразмерной величиной со структурой, определенной соотношениями подобия приземного слоя. Примем толщину устойчивого слоя h искомой переменной $h = h(x, y, t)$. Уравнение для определения компонентов Φ_1 получим путем подстановки (1) в исходные уравнения гидротермодинамики и их осреднения по вертикали от $z = \delta(x, y)$ до $z = h$. Отбрасывая индексы в декомпозиции (1), запишем [2]:

$$\begin{aligned} \frac{\partial hu}{\partial t} + \frac{\partial hu u}{\partial x} + \frac{\partial huv}{\partial y} &= -\lambda \cdot \Delta T \cdot h \frac{\partial (h + \delta)}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial x} hK \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial y} hK \frac{\partial u}{\partial y} - c_d |\vec{u}| u, \\ \frac{\partial hv}{\partial t} + \frac{\partial huv}{\partial x} + \frac{\partial hv v}{\partial y} &= -\lambda \cdot \Delta T \cdot h \frac{\partial (h + \delta)}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial x} hK \frac{\partial v}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial y} hK \frac{\partial v}{\partial y} - c_d |\vec{u}| v, \\ \frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial uh}{\partial x} + \frac{\partial vh}{\partial y} &= 0, \end{aligned} \quad (2)$$

где (u, v) – компоненты вектора горизонтальной скорости, K – коэффициент турбулентного обмена, $\Delta T > 0$ – вертикальный перепад температур между устойчивым приземным слоем и вышележащей атмосферой, λ – параметр плавучести, $|\vec{u}| = \sqrt{u^2 + v^2}$, c_d – коэффициент сопротивления о подстилающую поверхность.

Таким образом, задача расчета пространственно-временного распределения метеополей сведена к решению уравнений плановой модели (2) для определения u, v, h как искоемых компонентов представления (1).

Краевые условия на боковых границах сформулируем в виде

$$u = u_0, \quad v = v_0, \quad h = h_0 \quad \text{при } (x, y) \in \Gamma^+,$$

$$\frac{\partial u}{\partial x} = \frac{\partial u}{\partial y} = \frac{\partial v}{\partial x} = \frac{\partial v}{\partial y} = 0, \quad \text{при } (x, y) \in \Gamma^-, \quad (3)$$

где Γ^+ – граничные участки втекания потока в область, Γ^- – участки, где поток направлен из области. В качестве начальных условий примем заданное пространственное распределение функций u, v, h в момент $t=0$.

Турбулентное замыкание проведем на основе двумерной модели Смагоринского [8]

$$K = \alpha_s \Delta x \Delta y \sqrt{D_T^2 + D_S^2}, \quad (4)$$

где $D_T = \frac{\partial u}{\partial x} - \frac{\partial v}{\partial y}$, $D_S = \frac{\partial v}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial y}$, $\alpha_s \approx 1$ – множитель пропорциональности.

Плоская модель эволюции поля концентрации $c(x, y, t)$ получена путем вертикального осреднения уравнения переноса и диффузии невесомой пассивной примеси [1]:

$$\frac{\partial hc}{\partial t} + \frac{\partial huc}{\partial x} + \frac{\partial hvc}{\partial y} = \frac{\partial}{\partial x} hK \frac{\partial c}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial y} hK \frac{\partial c}{\partial y}. \quad (5)$$

Краевые условия задаются в виде.

$$c = c_0 \quad \text{при } (x, y) \in \Gamma^+,$$

$$\frac{\partial c}{\partial x} = \frac{\partial c}{\partial y} = 0 \quad \text{при } (x, y) \in \Gamma^- \quad (6)$$

Методы решения уравнений основаны на конечно-разностной дискретизации исходных систем в сеточной области. Используется прямоугольная x, y -сетка с узлами, разнесенными по граням элементарного пространственного

бокса. "Расшатанные" сетки позволяют строить консервативные разностные схемы, а применяемые неявные методы обеспечивают устойчивость метода при численном интегрировании. Пространственная аппроксимация дифференциальных операторов основана на современных представлениях о монотонных схемах и схемах с невозрастанием полной вариации (Total Variation Diminishing, TVD). TVD-свойство гарантирует, в частности, неотрицательность численных полей – таких, как толщина устойчивого слоя, концентрация примеси. Используется класс неявных схем высокого порядка аппроксимации, предложенный в [7].

Пример расчета

Как иллюстрацию модельного описания течения в городской застройке рассмотрим формирование параметров потока на примере микрорайона в научном городке Кольцово под Новосибирском. Микрорайон представлен многоэтажными жилыми зданиями и объектами городской инфраструктуры низкой этажности. На рисунке 1, построенном на топооснове фрагмента ГИС г.Новосибирска, здания изображены в виде сочетаний прямоугольников черного цвета (светлой заливкой обозначены шоссейные дороги). Расчетная область площадью $700 \times 650 \text{ м}^2$ включала 140×130 сеточных узлов, шаг сетки в обоих направлениях x, y равнялся 5 м. Вариация высот топографии подстилающей поверхности не превышала 10 м, высота и местоположение зданий учитывались посредством распределения поля $\delta(x, y)$.

В юго-юго-западном направлении примерно в 2 км от центра области расположена птицефабрика, которая в данном примере рассматривалась как пылящий наземный источник. Цель расчета состояла в изучении влияния выбросов птицефабрики на качество воздуха в жилой зоне.

На рассматриваемых масштабах влияние эффектов нестационарности невелико, релаксация процессов происходит достаточно быстро (за период менее 1 часа). В связи с этим ограничимся обсуждением установившегося течения. Уравнение неразрывности в (2) позволяет ввести в рассмотрение функцию тока ψ из соотношений

$$u h = \frac{\partial \psi}{\partial z}, \quad v h = -\frac{\partial \psi}{\partial x} \quad (7)$$

Совокупность кривых на рисунке 1 показывает пространственное распределение ψ в условиях сильной инверсии приземного слоя ($\Delta T=10^\circ\text{C}$) и слабом ветре (стрелки на кривых показывают направление движения частиц по траекториям). Механизмы переваливания потока через вершины зданий в этих условиях блокированы и практически реализуется только боковое обтекание, аналогичное процессу гладкого обтекания препятствий потоком тяжелой жидкости. Эффекты обтекания на рисунок 1 выражаются в том, что линии тока не пересекают контуров зданий. Заметим, что на ровной поверхности траектории представляли бы прямые линии, направленные по вектору внешней скорости.

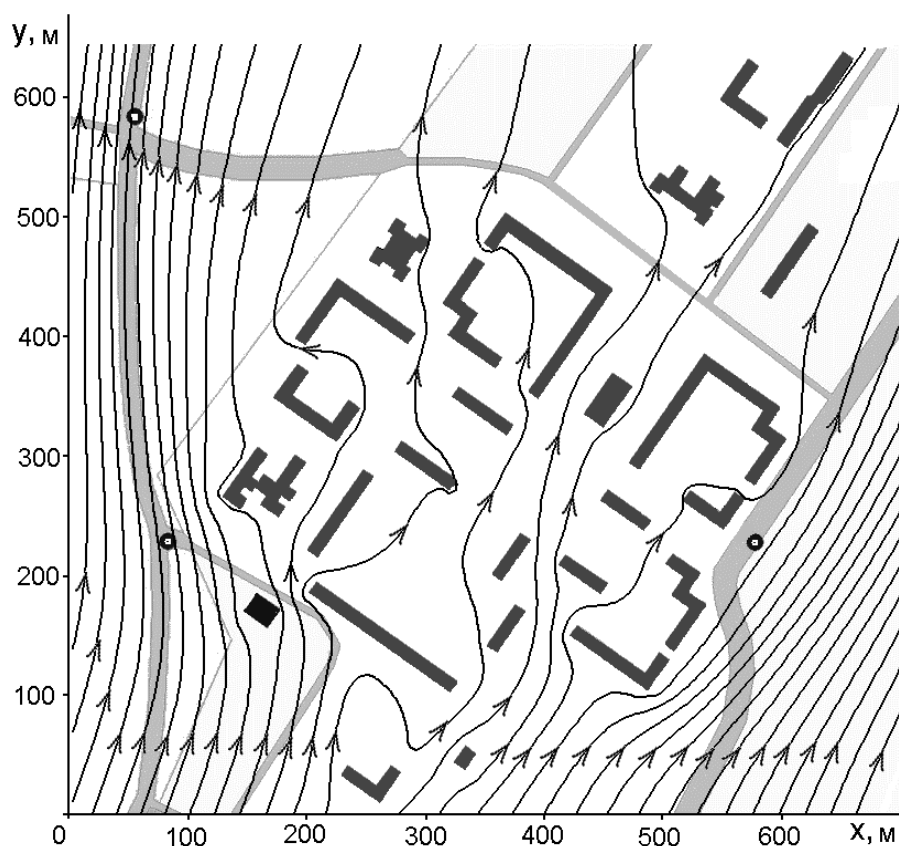


Рисунок 1. Изолинии функции тока при обтекании жилой зоны в условиях сильно устойчивой стратификации.

Обозревая картину движения в целом, видим (рисунок 1), что на боковых (относительно потока) границах микрорайона имеет место сгущение линий тока, что говорит об усилении скорости ветра в этих областях. На фронтальной стороне и внутри кварталов, напротив, наблюдается расхождение кривых с формированием

нерегулярной структуры токов, геометрия которых обусловлена влиянием отдельных строений. Это свидетельствует о торможении потока с наветренной стороны и внутренних территориях и образовании ветровой тени за препятствиями. Ветровая тень формируется и с подветренной стороны как результат суммарного воздействия городской агломерации на внешний поток.

Замедление течения перед препятствиями приводит к увеличению толщины движущего слоя h и образованию зоны подпора. При значениях h , превышающих высоту зданий, развивается процесс перетекания воздуха через вершины препятствий. Непосредственно над крышами домов скорость течения скачком возрастает и может в несколько раз превышать скорость набегающего потока, а с тыльной стороны зданий быстро падает. Комбинированный тип движения с боковым огибанием и переваливанием наблюдается при увеличении силы внешнего ветра и ослаблении инверсии. Реализация того или иного механизма взаимодействия течения с препятствиями зависит от локальных и внешних динамических параметров, индивидуальных характеристик здания, его положения на местности и т.п.

Особенности внутренней динамики течения обуславливают и закономерности перераспределения примеси по территории. На рисунке 2 представлено поле $c(x,y)$, нормированное максимальным значением c_m , доставляемым внешним потоком от места эмиссии к южной границе области. Расчет проведен при скорости ведущего потока 4 м/с и перепаде температуры 4 °С в устойчивом слое с начальной толщиной $h_0=20$ м.

Рисунок 2 показывает, что фронтон здания на юго-западной границе микрорайона образует своеобразный экран, препятствующий транспорту примеси во внутреннюю область. Вследствие сравнительно большой высоты этого здания (≈ 30 м) в локальном течении доминируют процессы бокового обтекания, перенаправляя поток в стороны по периферии микрорайона; при этом с тыльной стороны дома наблюдаются незначительная концентрация.

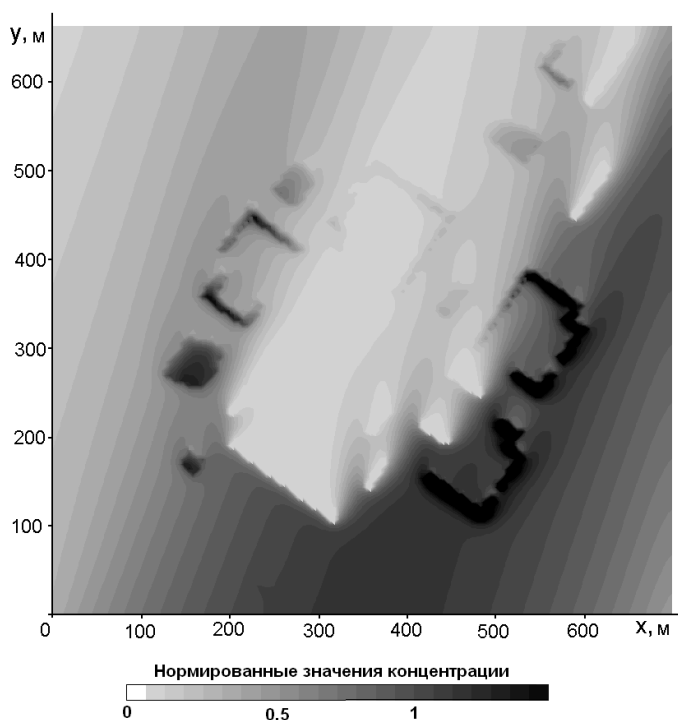


Рисунок 2. Нормированное поле концентрации примеси при среднеустойчивой стратификации.

Здания на юго-восточной окраине не так высоки (15 м) и в результате ускорения потока при переваливании в их окрестности аккумулируются значительные концентрации, в 2.5 раза превышающие максимальный фоновый уровень (зачерненные области на рисунке 2). Уменьшение концентрации за низкими препятствиями незначительно, что видно по слабому просвету в их подветренных следах на рисунке 2. Под влиянием динамического напора отдельные струи примеси распространяются внутрь микрорайона через межкорпусные промежутки, однако их вклад в общее загрязнение невелик.

В целом, за счет воздействия застройки суммарная масса примеси над микрорайоном уменьшилась на 40% по отношению к варианту переноса невозмущенным потоком над ровной местностью. Таким образом, в данных метеорологических условиях жилмассив исполняет роль средства экологической самозащиты за счет отвода основного загрязняющего потока на периферию микрорайона.

Подводя итог, отметим значительную роль городской застройки в формировании поля загрязнений при слабом ветре и инверсионной стратификации, т.е. в условиях, наиболее неблагоприятных с точки зрения обеспечения качества воздуха. Расчеты показывают, что город как макроструктура ландшафта

обуславливает деформацию внешнего потока и препятствует переносу атмосферных загрязнителей во внутренние области. Вместе с тем, градостроительные комплексы экранируют внешние течения и ослабляют внутренние локальные циркуляции, что затрудняет эффективное проветривание территории. Антропогенные загрязнители, генерируемые в пределах городской черты, могут в этих случаях серьезно осложнить экологическую обстановку в мегаполисе.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Атмосферная турбулентность и моделирование распространения примесей. Л.: Гидрометеоиздат, 1985. 351 с.
2. Гутман Л.Н. Введение в нелинейную теорию мезометеорологических процессов. Л.: Гидрометеоиздат, 1969. 295 с.
3. Зилитинкевич С.С. Динамика пограничного слоя атмосферы. Л.: Гидрометеоиздат, 1970. 292 с.
4. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Теоретическая физика. Т.6. Гидродинамика. М.: Наука, 1988. 733 с.
5. Монин А.С., Яглом А.М. Статистическая гидромеханика. С.-Петербург: Гидрометеоиздат, 1992. 694 с.
6. Шлычков В.А. Численная модель пограничного слоя атмосферы с детализацией конвективных процессов на основе вихреразрешающего подхода // Аэрозоли Сибири. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2005. С. 271-297.
7. Harten A. On a class of high resolution total-variation-stable finite-difference schemes // SIAM Journal of Numerical analysis. 1984. Vol.21. N. 1. P.1-23.
8. Smagorinsky J., Manabe S., Hollway J. Numerical results from a ninelevel general circulation model of the atmosphere // Month. Weather Rev. 1965. Vol.93. N. 8. P.727-768.

СЕМИПАЛАТИНСКИЙ ЯДЕРНЫЙ ПОЛИГОН: КАК ПОГАСИТЬ ЭХО ВЗРЫВОВ?

Официальная история ликвидации последствий влияния ядерных испытаний на Семипалатинском полигоне на здоровье населения Алтайского края началось в 1992 году после посещения края Президентом России Борисом Ельциным. 24 июня 1992 г. вышло Постановление Правительства Российской Федерации № 428 «О мерах по оздоровлению населения и социально-экономическому развитию населенных пунктов Алтайского края, расположенных в зоне влияния ядерных испытаний». И огромную роль в том, что эта история все-таки началась, сыграли ученые-медики.

Тогда перед Президентом РФ и руководителями края с докладом выступил профессор Яков Шойхет, занимавший должность проректора по научной работе Алтайского государственного медицинского института. Он изложил полученные учеными и врачами данные о влиянии на состояние здоровья населения Алтайского края ядерных испытаний на семипалатинском полигоне. Доклад ученого был настолько убедителен, что Президент РФ тут же дал поручение правительству немедленно приступить к выполнению комплекса мероприятий с целью ликвидации негативного воздействия ядерных испытаний. Согласно постановлению правительства, началась медицинская и социальная реабилитация населения, подвергшегося радиационному воздействию, продолжались научные исследования в пострадавших районах, более масштабные и глубокие.

Алтайские ученые-медики вместе с учеными Института биофизики Минздрава России, Центрального физико-технического института Минобороны (ЦФТИ) не только оценили дозу облучения на группы населения в зависимости от места проживания, но и выявили дозозависимые эффекты у облученных и их потомков. Исследователи убеждены, что Семипалатинская программа должны распространяться как минимум на два поколения потомков облученных. Сегодня заболеваемость в Алтайском крае растет постоянно, но летальность здесь ниже средней по Сибири. Это Яков Шойхет объясняет высокой выявляемостью

патологии на ранних стадиях, что стало результатом оснащения диагностическим оборудованием учреждений краевого здравоохранения.

Не менее важным результатом выполнения программы «Семипалатинский полигон-Алтай» было то, что на ее основе был выработан метод восстановления доз облучения, созданный в ЦФТИ. Метод прошел сертификацию, одобрен Минздравом и может быть использован в других регионах Сибири. Ведь от испытаний атомного оружия пострадали не только Казахстан и Алтайский край, но и еще восемь регионов: Тыва, Хакасия, Красноярский край, Новосибирская, Кемеровская, Иркутская, Читинская и Томская области [1].

Несмотря на выполнение в 90-х годах государственной научной программы «Семипалатинский полигон – Алтай», на сегодняшний день остается нерешенным вопрос о радиационных последствиях деятельности полигона для населения других регионов Сибири. Сегодня работа по выявлению основных дозообразующих следов и их последствий для населения ограничена только территорией Алтая. Следы эти искусственно обрываются на границах соседних областей. В процессе исследований был обнаружен, но остается неизученным эффект «удаленных выпадений» из радиационных облаков, образующихся после ядерных взрывов. Российское законодательство основано на негативных последствиях только двух взрывов 29.08.49 г. и 7.08.62 г., следы которых изучены только в пределах административных границ Алтайского края. Кстати, только при выполнении Алтайской программы в 1993 году с материалов по этим взрывам был снят гриф «совершенно секретно особой важности». Поэтому не случайно принято обращение Государственной Думы к Президенту России, опубликованное в Российской газете» 10 апреля 1997 г. Депутаты просят отменить распоряжение Правительства РФ, содержащее перечень населенных пунктов Алтайского края, пострадавших от ядерных взрывов. В тексте обращения указано: «Это распоряжение основано на результатах расчета доз радиации от двух взрывов из 143 (29.08.49г. и 7.08.62г.), что противоречит закону о социальной защите пострадавшего от радиационных воздействий населения и **«ОГРАНИЧИВАЕТ ДАЛЬНЕЙШУЮ РАБОТУ ПО ВЫЯВЛЕНИЮ ПОСТРАДАВШИХ ТЕРРИТОРИЙ»** (разрядка наша В.Б.). Реакции правительства это обращение не вызвало.

Автор (вместе со своим коллегой Р.А. Ягудиным) проработал на Семипалатинском полигоне с 1967 по 1989 гг., выполняя функции официального представителя бывшего Госкомгидромета СССР – члена Государственной комиссии по подготовке и проведению подземных ядерных взрывов.

Привлечение новосибирских метеорологов, знающих особенности местной циркуляции воздушных масс, к этой ответственной работе было связано с необходимостью выполнения требований Международного соглашения о запрещении ядерных испытаний в трех средах, подписанного в 1963 г. в г.Москве. Одно из требований соглашения – недопущение выхода продуктов взрыва путем атмосферного переноса за рубежи СССР в течение 3-5 суток, если бы произошла авария, и выход радиоактивности в атмосферу при подземных взрывах. Таких случаев, исключая аварию 14.01.1965 г., не было.

Контроль радиационной обстановки осуществлялся тогда на сети станций Госкомгидромета в 470 пунктах бывшего СССР. В ряде пунктов, расположенных вокруг полигона подразделениями Росгидромета, ежедневно осуществлялась воздушная радиационная разведка с помощью самолета Ли-2. Кроме этого, проводился систематический радиационный контроль качества воды и пищи службой санэпиднадзора. Большой объем информации был собран геологическими партиями, осуществляющими разведку урановых руд. Вся эта информация оставалась секретной вплоть до 1989 г., что наложило свой отпечаток на проблему изучения последствий деятельности полигона на окружающие территории и население.

Руководители ряда сибирских регионов, в том числе и Новосибирской области, полагали, что Алтайская программа одновременно решит и их проблемы. Но этого не произошло. Никто до сих пор не знает, какая дозовая нагрузка пришлась на долю сибиряков, на чью территорию неоднократно выпадали осадки и радионуклиды с Семипалатинского и, добавим, - с Новоземельского полигонов. Для решения этой проблемы 20 сентября 1994 г. была принята Новосибирская областная научная программа, предусматривающая изучение последствий радиоактивного загрязнения территории области от ядерных испытаний. Но поскольку программа финансировалась только 3 месяца, было лишь выяснено, какие взрывы оказали наиболее негативное влияние [2]. Посеяло надежду

Постановление Правительства Российской Федерации № 534, принятое 31 мая 1995 г. Согласно п.19 этого документа, ряду федеральных ведомств (Министерству по делам ГО и ЧС, службе Госсанэпиднадзора, Минздраву, Минприроды, Росгидромету, Минобороны и администрации Новосибирской области) было поручено «ОБЕСПЕЧИТЬ ПРОВЕДЕНИЕ НА ТЕРРИТОРИИ НСО НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ, СВЯЗАННЫХ С УСТАНОВЛЕНИЕМ СТЕПЕНИ ВЛИЯНИЯ ЯДЕРНЫХ ИСПЫТАНИЙ НА МЕДИКО-ДЕМОГРАФИЧЕСКУЮ ОБСТАНОВКУ В РЕГИОНЕ, ПО РЕЗУЛЬТАТАМ КОТОРЫХ РАЗРАБОТАТЬ КОМПЛЕКС МЕР ПО ОЗДОРОВЛЕНИЮ НАСЕЛЕНИЯ И СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКОМУ РАЗВИТИЮ НАСЕЛЕННЫХ ПУНКТОВ В ЗОНЕ, ПОДВЕРГШЕЙСЯ РАДИАЦИОННОМУ ВОЗДЕЙСТВИЮ». Научное руководство проблемой областное руководство почему-то решило передать Сибирскому отделению Академии наук и службе атомнадзора, хотя в постановлении правительства это не было предусмотрено. Поочередно три академика (В.Шумный, В.Труфакин и В.Ляхович), руководители администрации области, сменяя один другого, так и не смогли добиться федерального финансирования работы. Дозы облучения населения области, как главного доказательного эффекта радиационного воздействия, так и не были рассчитаны. Не было выполнено свое же решение, принятое по итогам выполнения областной научной программы: передать в МЧС данные, полученные СибНИГМИ для расчета доз облучения от аварийного низковысотного взрыва большой мощности, дополнив их архивными материалами других ведомств.

Причиной этого стала не только пассивность местных руководителей, но и отсутствие координирующей роли центральных ведомств, среди которых ведущая роль должна была принадлежать Министерству по делам ГО и ЧС. В начале 90-х годов в этом ведомстве такая структура имела в лице территориального управления по реабилитации, но вскоре была ликвидирована. Всеобщая особая секретность, связанная с атомными экспериментами, привела к тому, что на местах и сегодня многие руководители не представляют, где и какая информация имеется, как должна решаться проблема реабилитации, и есть ли такая проблема вообще. Существует даже мнение, что Росгидромет скрывает эти сведения. В предисловии к книге «Экоцид в СССР» М. Фешбах и А. Френдли (М., 1992), написанном

академиком С.П. Залыгиным, Российская Гидрометеорологическая служба называлась экологически преступной организацией, которая «скрывала и скрывает от населения истинную обстановку на Новой земле, Семипалатинском полигоне и т.д.». Давайте разберемся – что касается прошлого, то этот вопрос решался на государственном уровне. Ответ на нынешнюю ситуацию надо искать у идеологов рыночной экономики. В конце 80-х годов по приказу Росгидромета из Москвы на местах вся информация о прошлой радиационной обстановке была уничтожена перед тем, как с нее был снят гриф секретности. Ныне вся она открыта, находится в архивах городов Москва, Обнинск, Саров, и имеет коммерческую стоимость. Платите деньги и пользуйтесь.

Величина концентрации радиоактивных выпадений и мощность экспозиционной дозы, фиксируемые Гидрометслужбой с 1954 г. – важные, но не единственные виды информации, необходимые для расчета доз облучения. Оперативное получение информации о дозах облучения населения не входит в функциональные обязанности ни одной из государственных структур. Это должно быть результатом специальных научных исследований, которые в нашем случае и должны быть проведены согласно Постановлению Правительства № 534 так же, как это было сделано для территории Алтайского края.

Анализируя радиационные последствия взрыва № 100 (17.09.61 г.), нами было установлено, что на следующий день в Новосибирске была зарегистрирована рекордная плотность выпадения радиоактивности из атмосферы за весь период мониторинга [2]. Она превысила аналогичные показатели в Барнауле, связанные со взрывом 7.08.62 г., который официально признан аварийным. Но оказалось, что до сих пор не опубликованы данные о мощности этого взрыва и количестве попавших в атмосферу радионуклидов. Без этой информации достоверно оценить дозы облучения населения нельзя. Однако, начиная с 1996 г. [3], продолжается тиражирование результатов предварительной оценки доз и вывода о том, что радиоактивного заражения местности на территории НСО от этого взрыва не было.

Очевидно, что находясь в таких условиях ограниченной информации, ни Новосибирская область, но другие регионы получить объективные данные о радиоактивном загрязнении и дозах облучения не смогут.

Хотя еще 24.01.97 г. решением Межведомственной комиссии по предупреждению и ликвидации ЧС предложено Минобороны и ФСБ России снять гриф секретности с материалов, необходимых для достоверной оценки доз облучения. Но воз, как говорится, и ныне там.

Критическая масса протестных выступлений против замалчивания фактов и субъективных оценок прошлой радиационной ситуации в Сибири нарастает, и продолжать игнорировать это нельзя [4-15]. Для России, многие десятилетия пребывавшей в условиях тоталитарного режима, закрытости и изолированности, крайне важна открытость информационная, в том числе экологическая. Отсутствие такой информации, общедоступной в любой цивилизованной стране, лишает органы управления и общество возможности оценки и контроля состояния дел в обороне и обеспечении безопасности, в том числе и экологической.

Какие выводы и предложения вытекают из изложенного?

1. Остается не реализованной острая необходимость в обобщении и объективном анализе всех накопленных материалов по радиационным воздействиям ядерных испытаний на территорию и население. Правительственное решение, обязывающее это сделать для Новосибирской области, не выполнено (Пост. № 534 п.19 от 31.05.95 г.). Финансовые средства, необходимые для этого, не выделены.

2. В решении этой задачи отсутствует координация действий головных НИУ.

Созданное для этого территориальное управление по реабилитации в системе Министерства по ГО и ЧС в 90-х годах прекратило свою деятельность.

3. Существующие оценки прошлой радиационной обстановки основаны на неполной информации. Они не содержат всех данных по экстремальным случаям (аварийным ситуациям). В частности, в «аварийную статистику» не вошел взрыв № 100 17.09.61 г., на что указывают материалы наземного мониторинга Росгидромета. Нигде не опубликованы и не использованы материалы воздушной радиационной разведки Росгидромета, проводимой в 50-60 годах, сведения службы санэпиднадзора, данные геологоразведки, использующие радиометрическую аппаратуру.

4. Не проведена оценка и не создана карта накопленных эффективных доз

облучения населения Сибири, кроме территории Алтайского края. Не учтен вклад в суммарную дозу от локальных выпадений с Новоземельского полигона.

5. Поручение Президента РФ В.В.Путина № Пр-2085 от 24.10.2000г. (МЧС России, МИДу, Минздраву России и др. ведомствам) по поводу установления статуса лиц, подвергшихся радиоактивному воздействию вследствие ядерных испытаний может быть выполнено только после полного анализа всех упомянутых материалов, и снятия грифа секретности с информации Министерства обороны и Минатома.

6. Данные радиационных исследований и их профессиональная интерпретация должны быть доступны для населения всего региона. Только таким путем можно преодолеть страх перед радиацией и объективно оценить ситуацию.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Семипалатинский полигон: обеспечение общей и радиационной безопасности/ Колл. авт. под рук. проф. В.А.Логачева. М.: ИздАТ, 1997. 319 с.
2. Барахтин В.Н., Дусь В.И. Семипалатинский полигон глазами независимых экспертов. СПб.: Гидрометеиздат, 2002. 110 с.
3. Логачев В.А., Михалихина Л.А., Филонов Н.П. Влияние ядерных испытаний на Семипалатинском полигоне на состояние здоровья населения Кемеровской и Новосибирской областей. Бюл. Центра обществ. информации по атомной энергии. Спец. вып. М., 1996. Март. 20 с.
4. Булатов В.И. 200 ядерных полигонов СССР. География радиационных катастроф и загрязнений. Новосибирск: ЦЭРИС, 1993. 88 с.
5. Плутоний в России. Экология, экономика, политика. Независимый анализ / Под рук. чл.-корр. РАН проф. А.В.Яблокова. М.: ЦЭПР, СЭС, 1994. 144 с.
6. Клезенталь Г.А., Калякин В.И., Сереженков В.А. Дозы радиации, полученные северными оленями Новой Земли, по данным ЭПР-анализа эмали зубов // Радиация и общество. Инф. бюлл. Вып.1. М.: Международный Чернобыльский фонд безопасности, 1995. С. 123-127.
7. Булатов В.И. Россия радиоактивная. Новосибирск: ЦЭРИС, 1996. 272 с.

8. Апсалихов К.Н., Гусев Б.И., Дусь В.И., Леонгард Р.Б. Семипалатинское атомное озеро. Алматы: Гылым, 1996. 301 с.
9. Тлеубергенов С.Т. Полигоны Казахстана. Алматы, 1997. 746 с.
10. Селегей В.В. Радиоактивное загрязнение г. Новосибирска – прошлое и настоящее. Новосибирск: Экология, 1997. 148 с.
11. Воронин Г.В. Ядерный полигон – триумф и трагедия народа. Новосибирск, 1998. 67 с.
12. Якубовская Е.Л., Нагибин В.И., Суслин В.П. Семипалатинский ядерный полигон – 50 лет. Новосибирск, 1998. 141 с.
13. Булатов В.И. Россия: экология и армия. Геоэкологические проблемы ВПК и военно-оборонной деятельности. Новосибирск: ЦЭРИС, 1999. 168 с.
14. Якубовская Е.Л., Нагибин В.И., Суслин В.П. Семипалатинский ядерный полигон: вчера, сегодня, завтра. Новосибирск, 2000. 128 с.
15. Якубовская Е.Л., Нагибин В.И., Суслин В.П. Семипалатинский ядерный полигон – независимый анализ проблемы. Новосибирск, 2003. 144 с.

РЕКОНСТРУКЦИЯ ПОЛЕЙ ДЛИТЕЛЬНОГО ТЕХНОГЕННОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ МЕСТНОСТИ

Введение

В условиях постоянного роста антропогенных воздействий на окружающую среду желательно располагать разнообразными и детальными сведениями о её фактическом состоянии. При организации сети наблюдений необходимо использовать данные о существующих и планируемых источниках загрязнения атмосферы, характеристиках загрязняющих веществ, гидрометеорологических и климатических условия, результатах прошлых наблюдений, информацию о дальнем переносе примесей.

К настоящему времени более обстоятельно разработаны теория и методы расчета полей разовых (в основном 20-30 минут) концентраций [2,4]. Для определения полей среднесезонных, среднегодовых концентраций на основе разовых концентраций необходима существенно большего объема детальная информация о параметрах атмосферной диффузии, метеоусловиях, внутригодовом объеме выбросов от источника, дисперсном составе и трансформации примесей и т.д. Именно поэтому в большей части работ по расчету среднегодовых концентраций ограничиваются их грубой оценкой или учетом только отдельных метеорологических факторов. В наиболее полных схемах необходимо использование при расчетах многомерных выборочных функций распределения, которые по данным метеонаблюдений определяются с малой обеспеченностью [3].

1. Реконструкция полей локального загрязнения

В основе моделей оценивания длительного аэрозольного загрязнения местности точечными и распределёнными источниками положено следующее соотношение [3]

$$\bar{q}_{\tau} = \int_0^{\infty} q \rho_{\tau, \bar{\tau}}(q) dq \quad , \quad (1)$$

выражающее связь между средней концентрацией $\bar{q}_{\bar{\tau}}$ за длительный период, относящейся к интервалу времени $\bar{\tau}$ и q - разовыми концентрациями, относящимися к интервалу времени $\tau \ll \bar{\tau}$; $\rho_{\tau, \bar{\tau}}$ - плотность вероятности для разовых концентраций. Значение q находится на основании решения уравнения турбулентной диффузии.

При расчете средней концентрации в приземном слое атмосферы определяющее значение имеют часто встречающиеся метеорологические условия. К ним относятся так называемые нормальные метеоусловия, для которых следующая степенная аппроксимация скорости ветра и коэффициента вертикального турбулентного обмена [2,4]

$$u(z) = u_1 \left(\frac{z}{z_1} \right)^n, \quad K_z = k_1 \frac{z}{z_1} \quad (2)$$

где u_1 и k_1 - значения u и K_z при $z = z_1$.

В этом случае для точечного источника получаем следующее представление для средней приземной концентрации

$$\bar{q}(r, \varphi) = \iint_{\Omega} q(r, \varphi, k_1, u_1) p_1(k_1, u_1) dk_1 du_1, \quad (3)$$

где r, φ - полярные координаты, $p_1(k_1, u_1)$ - совместная плотность вероятности u_1 и k_1 за период усреднения, Ω - область реального изменения u_1 и k_1 ,

$$q(r, \varphi, k_1, u_1) = \frac{P(\varphi + 180^\circ) q_\lambda(r, k_1, u_1)}{r}. \quad (4)$$

Здесь $P(\varphi)$ - приземная роза ветров, q_λ - разовая концентрация для линейного источника.

Использование степенной аппроксимации (2) скорости ветра и коэффициента турбулентного обмена позволяет для легкой примеси представить $q(r, \varphi, k_1, u_1)$ в аналитической форме

$$q_{\lambda} = \frac{Q}{(1+n)k_1\varphi_0\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{u_1 H^{1+n}}{k_1(1+n)^2 r}},$$

(5)

где Q, H - мощность и высота источника, φ_0 - дисперсия скорости ветра.

Для монодисперсной примеси концентрация определяется соотношением

$$q_w = q_{\lambda} \cdot \chi\left(\frac{k_1}{u_1} r, \frac{w}{k_1}, H\right), \quad \chi = \frac{\left[\frac{u_1}{(1+n)^2 k_1}\right]^{\omega} H^{(1+n)\omega}}{\Gamma(1+\omega) r^{\omega}}, \quad (6)$$

где $\omega = \frac{w}{(1+n)k_1}$, $\Gamma(1+\omega)$ - гамма-функция.

Климатологический анализ данных градиентных наблюдений на сети теплобалансовых станций позволяет установить более детально структуру и свойства функции $p_1(k_1, u_1)$. Имеет место представление [3]

$$p_1(k_1, u_1) = p'(u_1) \cdot p''(\lambda), \quad (7)$$

где $\lambda = \frac{k_1}{u_1}$.

В первом приближении можно принять, что

$$p''(\lambda) = \delta(\lambda - \bar{\lambda}), \quad (8)$$

где $\delta(\lambda)$ - дельта- функция.

Для более полного учета параметра устойчивости λ функцию $p''(\lambda)$ может быть задана в виде гамма - распределения Вейбулла [3]

$$p''(\lambda) = \frac{\alpha^{K-1} \lambda^{-K}}{\Gamma(K-1)} e^{-\frac{\alpha}{K}}. \quad (9)$$

В случае легкой примеси, с учетом (4), (5), (7), (8) из соотношения (3) вытекает

$$\begin{aligned}\bar{q}(r, \varphi) &= \frac{QP(\varphi+180^\circ)}{\sqrt{2\pi}\varphi_0 r^2} \iint_{\bar{\Omega}_1} \frac{1}{n+1} e^{-\frac{H^{n+1}}{\lambda(1+n)^2 r}} \cdot \lambda \cdot p'(u_1) \cdot p''(\lambda) d\lambda du_1 = \\ &= \frac{QP(\varphi+180^\circ)\bar{\lambda}}{\sqrt{2\pi}(1+n)\varphi_0 r^2} e^{-\frac{H^{n+1}}{\bar{\lambda}(1+n)^2 r}} \int_0^u p'(u_1) du_1 = \theta_1 \frac{P(\varphi+180^\circ)}{r^2} e^{-\frac{\theta_2}{r}},\end{aligned}$$

(10)

$$\theta_1 = \frac{Q\bar{\lambda}}{\sqrt{2\pi}(1+n)\varphi_0} \int_0^u p'(u_1) du_1, \quad \theta_2 = \frac{H^{1+n}}{\bar{\lambda}(1+n)^2}. \quad (11)$$

При наличии данных наблюдений концентрации примеси параметры θ_1, θ_2 определяются методом наименьших квадратов.

Рассмотрим случай монодисперсной примеси. В переменных u_1, λ функция χ примет вид

$$\chi = \frac{H^{(1+n)\omega_1}}{[(1+n)^2 \lambda]^{\omega_1} \Gamma(1+\omega_1) r^{\omega_1}}, \quad (12)$$

где $\omega_1 = \frac{w}{(1+n)\lambda u_1}$.

Из соотношения (3), с учетом (4)-(8), вытекает

$$\bar{q}_w(r, \varphi) = \frac{Q \cdot P(\varphi+180^\circ) \cdot \bar{\lambda}}{\sqrt{2\pi}\varphi_0(1+n)r^2} e^{-\frac{H^{n+1}}{\bar{\lambda}(1+n)^2 r}} \int_0^u p'(u_1) \frac{H^{(1+n)\bar{\omega}_1} r^{-\bar{\omega}_1}}{[(1+n)^2 \bar{\lambda}]^{\bar{\omega}_1} \Gamma(1+\bar{\omega}_1)} du_1 \quad (13)$$

где $\bar{\omega}_1 = \frac{w}{(1+n)\bar{\lambda} u_1}$.

Учитывая аналогичное свойство (8) для функции $p'(u_1)$, из (13) получаем следующее регрессионное соотношение

$$q_w(r, \varphi) = \theta_{1w} \cdot P(\varphi+180^\circ) \cdot r^{\theta_{3w}} \cdot e^{-\frac{\theta_2}{r}}, \quad (14)$$

$$\text{где } \theta_{1w} = \frac{Q \cdot H^{(1+n)\omega_2}}{\sqrt{2\pi} \varphi_0 (1+n)^{2\omega_2+1} \cdot \bar{\lambda}^{\omega_2-1} \cdot \Gamma(1+\omega_2)}, \quad \theta_{3w} = -2 - \omega_2,$$

$$\omega_2 = \frac{w}{(1+n) \bar{\lambda}_1 \bar{u}_1}.$$

Для оценивания параметров θ_{1w} , θ_2 , θ_{3w} в регрессии (14) необходимо проведение наблюдений не менее, чем в трех точках местности. Количество точек может быть уменьшено в случае, если оценка θ_2 была проведена предварительно для рассматриваемого источника в случае слабооседающей примеси. Параметр θ_2 в некотором смысле является внешним параметром и его предварительную оценку можно выполнить, исходя из геометрической высоты источника и динамических и тепловых характеристик, выбрасываемой газовой воздушной смеси.

Замечание 1. Построение регрессионной зависимости для оценивания поля концентрации монодисперсной примеси можно провести, не делая априорных предположений о виде функции $p'(u_1)$, используя метод асимптотических разложений. Для этого функцию $r^{-\bar{\omega}_1}$ представим в виде ряда по степеням $\ln r$

$$r^{-\bar{\omega}_1} = e^{-\bar{\omega}_1 \cdot \ln r} \approx 1 - \bar{\omega}_1 \ln r + \frac{\bar{\omega}_1^2 \ln^2 r}{2!}.$$

(15)

Для малых скоростей оседания аэрозольных частиц можно ограничиться первыми членами разложения (15). Например, для первых двух членов разложения получается следующая регрессионная зависимость вида

$$\bar{q}_w(r, \varphi) = \frac{\theta'_{1w} + \theta'_{3w} \ln r}{r^2} e^{-\frac{\theta_2}{r}} \cdot P(\varphi + 180^\circ),$$

(16)

$$\text{где } \theta'_{1w} = \frac{Q \bar{\lambda}}{\sqrt{2\pi} \varphi_0 (1+n)} \cdot \int_0^u p'(u_1) \frac{H^{(1+n)\bar{\omega}_1}}{[(1+n)^2 \bar{\lambda}]^{\bar{\omega}_1} \Gamma(1+\bar{\omega}_1)} du_1,$$

$$\theta'_{3w} = \frac{-Q\bar{\lambda}}{\sqrt{2\pi}\varphi_0(1+n)} \cdot \int_0^u p'(u_1) \frac{H^{(1+n)\bar{\omega}_1} \cdot \bar{\omega}_1}{[(1+n)^2 \bar{\lambda}]^{\bar{\omega}_1} \Gamma(1+\bar{\omega}_1)} du_1.$$

Замечание 2. В случае полидисперсной примеси задача оценивания полей средних концентраций не слишком усложняется, если известна функция распределения скоростей оседания выбрасываемой из аэрозольного источника. Представляя функцию распределения $R(w)$ в дискретным образом в виде N фракций со средними скоростями оседания w_i и веса ρ_i , $i = \overline{1, N}$, представим задачу определения поля длительных аэрозольных выпадений в следующем виде

$$\bar{q}_w(r, \varphi) = \frac{\theta_1}{r^2} \cdot e^{-\frac{\theta_2}{r}} \cdot P(\varphi + 180^\circ) \cdot \sum_{i=1}^N \rho_i \frac{\theta_2^{w_i \tilde{\theta}_3}}{\Gamma(1 + w_i \tilde{\theta}_3)} r^{-w_i \tilde{\theta}_3}, \quad (17)$$

$$\text{где } \tilde{\theta}_1 = \frac{Q \cdot \bar{\lambda}}{\sqrt{2\pi}\varphi_0(1+n)}, \quad \theta_2 = \frac{H^{1+n}}{\bar{\lambda}(1+n)^2}, \quad \tilde{\theta}_3 = \frac{1}{(1+n)\bar{\lambda}\bar{u}_1}.$$

При неизвестной функции распределения $R(w)$ размерность задачи оценивания $\bar{q}_w(r, \varphi)$ на основе (17) существенно возрастает, если дополнительно в число неизвестных параметров ввести веса ρ_i , $i = \overline{1, N}$. При небольших N решение этой задачи не потребует слишком большого объема экспериментальной информации о полях концентраций аэрозольных примесей. Более реальным представляется метод, основанный на априорном задании $R(w)$, зависящей от небольшого числа параметров.

1. Восстановление регионального загрязнения территорий

Поле осредненной за длительный промежуток времени концентрации от точечного источника определяется по формуле [6]

$$\bar{q}(r, \varphi, z) = \frac{S(r, z) \cdot g(\varphi)}{2\sqrt{\pi k_0 r}} \int_{-\Delta}^{\Delta} e^{-\frac{r \sin^2 \psi}{4k_0}} d\psi, \quad (18)$$

где r, φ - полярные координаты расчетной точки с началом в месте расположения источника, $g(\varphi)$ - вероятность противоположного φ направления ветра, Δ - некоторый малый угол, характеризующий расширение факела в поперечном к ветру направлении, $S(r, z)$ - решение полуэмпирического уравнения турбулентной диффузии в пограничном слое атмосферы [2,4].

Для типичных $k_0 = 0,5 - 1 \text{ м}$, $\Delta < 10^\circ - 15^\circ$ при $r > 1 \text{ км}$

$$\bar{q}(r, \varphi, z) = \frac{F \cdot S(r, z) \cdot g(\varphi)}{r} \quad (19)$$

Здесь F – величина, практически независимая от r .

Соотношение (18) допускает дальнейшие упрощения для слабо оседающей и инертной примеси. В этом случае при удалении от источника примеси на расстояния порядка 7-10 км функция $S(r, z)$ практически не зависит от Z . Тогда, с учетом (19), для плотности выпадений примеси на подстилающую поверхность получим

$$\bar{q}(r, \varphi) = \frac{\theta \cdot g(\varphi)}{r}, \quad (20)$$

где $\theta = \lambda \cdot Q / (2\pi \cdot u \cdot h)$, λ - коэффициент взаимодействия примеси с подстилающей поверхностью, Q – мощность источника, u, h – скорость ветра и толщина слоя перемешивания.

2. Анализ загрязнения местности выбросами Норильского медеплавильного завода

Атмосферные промышленные выбросы являются основным источником загрязнения природной среды Норильского промышленного района. Около 70 % выбросов приходится на металлургическое производство [1]. Масса пылевых выбросов превышает 30 тысяч тонн в год. Загрязнение снежного покрова пылью приводит к изменению его альбедо и яркостных характеристик, в результате чего ореолы загрязнения достаточно чётко фиксируются на космических снимках. Их протяжённость достигает 100 км [7]. Химический состав твёрдого осадка снеговой

воды характеризуется содержанием таких тяжёлых металлов как железо, медь, никель, марганец, хром, цинк, свинец, кадмий [5].

На данных экспедиционных исследований загрязнения снежного покрова [5], выполненных в окрестности Норильского медеплавильного завода, проведём апробацию предложенных выше методов оценивания аэрозольного загрязнения местности. На рисунок 1 указано положение источника и схема отбора проб. Для реконструкции полей аэрозольных выпадений в ближней зоне использовалась локальная модель (14). Оценивание выпадений в дальней зоне (более 10 км) проводилось по модели (20). Результаты численного восстановления содержания в снеге тяжёлых металлов вдоль маршрута отбора проб и окрестностях завода представлены на рисунках 1-3.

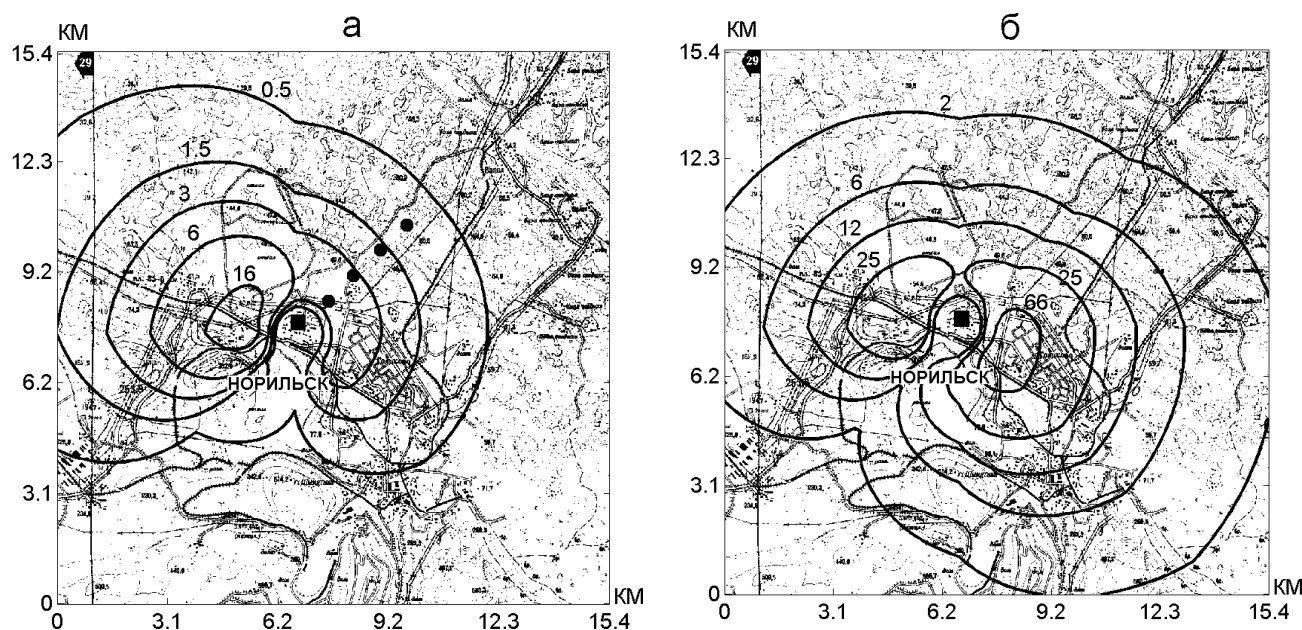


Рисунок 1. Восстановленные поля аэрозольных выпадений никеля от Норильского медеплавильного завода: а) – для зимнего периода (мг/л), б) – для летнего сезона (в % от максимального значения).

■ - источник выброса, ● - точки отбора проб снега

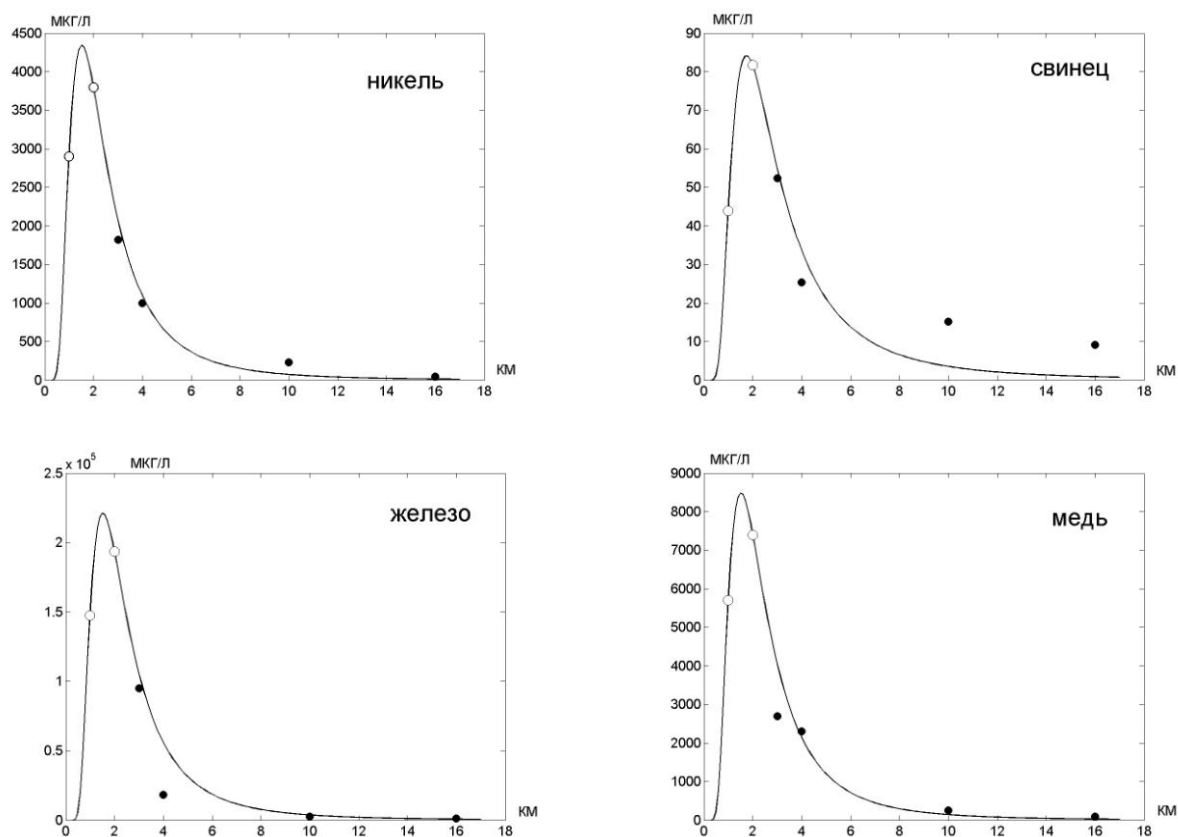


Рисунок 2. Содержание тяжёлых металлов в твёрдом осадке снеговой воды в направлении на северо-восток от Норильского медеплавильного завода. Восстановленные концентрации никеля, свинца, железа, меди по локальной модели. ○ – опорные точки, ● - контрольные точки наблюдений, — - рассчитанная концентрация.

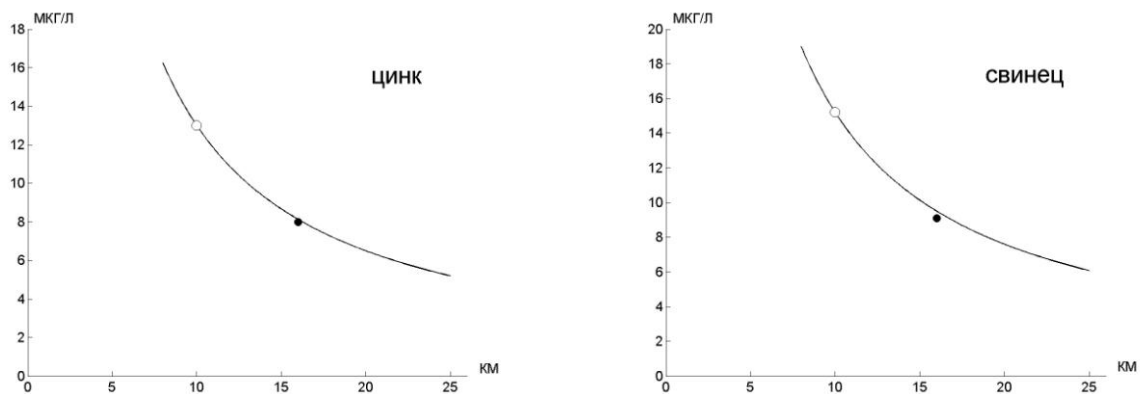


Рисунок 3. Содержание цинка, свинца, восстановленное по модели регионального переноса (20).

Результаты численного моделирования подтверждают достаточно высокий уровень соответствия измеренных и вычисленных концентраций. Выпадения тяжёлых металлов на ближних расстояниях представлены в основном крупными аэрозольными фракциями, в зоне более 10 км тяжёлые металлы

переносятся на слабо оседающих аэрозольных частицах. Анализ рисунка 1 показывает, что территория г. Норильска подвержена интенсивному влиянию аэрозольных выбросов медеплавильного завода в различные сезоны года и крайне неудачное взаимное положение города и завода.

Заключение

Проведённое теоретическое исследование и анализ на его основе данных натурных наблюдений показывает возможность вполне адекватного описания полей длительного загрязнения местности в рамках достаточно простых регрессионных зависимостей. Процедура агрегирования неизвестных величин существенно повышает эффективность решения обратных задач переноса примесей. При наличии весьма ограниченной входной информации построены количественных моделей формирования полей длительных аэрозольных выпадений примеси в окрестности конкретного техногенного источника. Следует отметить, что необходимым этапом решения задач оценивания полей загрязнения является использование процедур оптимального планирования регрессионных экспериментов.

Работа выполнена при финансовой поддержке Программы фундаментальных исследований Президиума РАН, проект 13.5; РФФИ-ОБЪ, грант 05-05-98006.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Безуглая Э.Ю., Расторгуева Г.П., Смирнова И.В. Чем дышит промышленный город. Л.: Гидрометеиздат, 1991. 255 с.
2. Берлянд М. Е. Современные проблемы атмосферной диффузии и загрязнения атмосферы. Л.: Гидрометеиздат, 1975. 448 с.
3. Берлянд М.Е., Генихович Е.Л., Канчан Я.С., Оникул Р.И., Чичерин С.С. О расчёте среднегодовых концентраций примеси в атмосфере от промышленных источников // Труды ГГО. Л.: Гидрометеиздат, 1979. Вып. 417. С.3-18.
4. Бызова Н.Л., Гаргер Е.К., Иванов В.Н. Экспериментальные исследования

атмосферной диффузии и расчеты рассеяния примеси. Л.: Гидрометеиздат, 1991. 279 с.

5. Игамбердиев В.М., Терешенков О.М., Кутыев Х.А., Попова Е.Н. Оценка современного состояния природной среды: Норильский промышленный район // Народное хозяйство республики Коми. Сыктывкар, 1994. Т. 3. С. 54-61.
6. Рапута В.Ф., Садовский А.П., Олькин С.Е. Реконструкция выпадений бенз(а)пирена в окрестностях Новосибирского электродного завода // Метеорол. и гидрол. 1997. № 2. С. 33-41.
7. Харук В.И., Винтербергер К., Цибульский Г.М., Яхимович А.П. Анализ техногенной деградации притундровых лесов по данным съёмки из космоса. // Исследование Земли из космоса. 1995. № 4. С. 91-97.

КАРТЫ ФОНОВОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА НЕКОТОРЫХ ГОРОДОВ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

Информация о фоновой концентрации того или иного загрязняющего вещества в атмосфере города необходима при установлении нормативов предельно допустимых выбросов загрязняющих веществ в атмосферу как для действующих, так и для вновь проектируемых или реконструируемых промышленных предприятий, а также для администраций городов, органов Госконтроля и других заинтересованных организаций.

Фоновая концентрация представляет собой не средний уровень загрязнения атмосферного воздуха в городе той или иной примесью, как многие думают, а такой уровень концентраций, который превышает всего в 5% случаев наблюдений за разовыми концентрациями. Именно такие высокие концентрации наблюдаются при неблагоприятных метеорологических явлениях, повторяемость которых значительна, особенно в условиях Сибири. Методология нормирования выбросов загрязняющих веществ в атмосферу рассчитана с условием, что и при таких ситуациях будут сохраняться гигиенические критерии чистоты атмосферного воздуха, не превышающие предельно допустимых концентраций (ПДК_{мр}).

Строительство новых промышленных предприятий, имеющих выбросы вредных веществ в атмосферу, должно производиться только в том случае, если на границе санитарно-защитной зоны предприятия максимальная концентрация от выбросов самого предприятия (С) и существующий фон (С_ф) не превышают максимально разовую предельно допустимую концентрацию (ПДК_{мр}), т.е. выполняется неравенство:

$$\text{ПДК}_{\text{мр}} \leq C + C_{\text{ф}}. \quad (1)$$

Такие же требования предъявляются и к действующим промышленным предприятиям. Они изложены в нормативном документе [2], где учет фона предлагается производить по формулам:

$$\begin{aligned} C_{\text{ф}} &= C_{\text{ф}} (1 - 0,4 C/C_{\text{ф}}) && \text{при } C \leq 2 * C_{\text{ф}} \\ C_{\text{ф}} &= 0,2 * C_{\text{ф}} && \text{при } C > 2 * C_{\text{ф}}, \end{aligned}$$

где C – максимальная расчетная концентрация в точке размещения близлежащего поста наблюдений, мг/м^3 ; $C_{\text{ф}}$ – фоновая концентрация на близлежащем посту наблюдений, мг/м^3 ; $C'_{\text{ф}}$ – фоновая концентрация, из которой вычтен вклад самого предприятия, мг/м^3 .

Для действующих предприятий неравенство (1) выглядит как:

$$\text{ПДК}_{\text{мр}} \leq C + C'_{\text{ф}} \quad (2)$$

Значения фоновых концентраций ($C_{\text{ф}}$) могут быть получены двумя способами: по экспериментальным данным и расчетным методом.

О п р е д е л е н и е з н а ч е н и й $C_{\text{ф}}$ п о э к с п е р и м е н т а л ь н ы м д а н н ы м ($C_{\text{фэ}}$). В промышленно развитых городах страны организована служба контроля за чистотой атмосферного воздуха, которую осуществляет Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды РФ (Гидрометслужба). Наблюдения за концентрациями загрязняющих веществ в атмосферном воздухе ведутся на стационарных пунктах наблюдений за загрязнением (ПНЗ), количество которых в городе зависит от численности населения, площади города и степени его индустриализации. В среднем устанавливается 1 пост на 100 тыс. населения, так что в городах с населением 1 миллион человек таких постов должно быть не менее 10. Пункты наблюдений устанавливаются в различных районах города и делятся на пункты, характеризующие загрязнение атмосферного воздуха в жилых кварталах, в промышленной части и вдоль интенсивных автомагистралей. Наблюдения ведутся в 07, 13 и 19 час. местного времени, кроме воскресных и праздничных дней, в основном, за 5-6-ю примесями. В обязательном порядке ведутся наблюдения за диоксидом азота, оксидом углерода, сернистым ангидридом и пылью. Набор остальных контролируемых загрязняющих веществ зависит от профиля базирующихся в городе промышленных предприятий. В городах Сибири наибольшее количество примесей контролируют: Омск (27 ингредиентов), Кемерово (26), Ангарск (18), Новосибирск (17).

Во времена перестройки сеть наблюдений резко сократилась. Была ликвидирована система контроля за чистотой атмосферного воздуха в малых городах, таких как Славгород, Киселевск, Ленинск-Кузнецкий, Обь и др. Примерно на одну треть сократилось количество постов наблюдений в больших городах с

одновременным сокращением количества контролируемых примесей. Например, количество измеряемых примесей в г.Новосибирске к 2005 году сократилось с 17 до 12, в г.Томске с 17 до 13, в г.Кемерово с 26 до 23, в г.Новокузнецке с 19 до 14.

Значения $S_{фэ}$ для каждой примеси в отдельности определяются в соответствии с нормативно-методическими документами [3, 5] по данным наблюдений за последние 3-5 лет. Расчет фона по данным наблюдений более чем за 5 лет не допускается из-за возможного изменения уровней загрязнения атмосферы за счет ввода (закрытия) промышленных предприятий или за счет других причин.

Значения $S_{фэ}$ определяются для малых скоростей ветра 0-2 м/с и для скоростей ветра более 3м/с. Последние разбиваются на четыре направления: С, В, Ю и З. При этом количество измерений для каждой позиции не должно быть менее 200 для обеспечения статистической достоверности получаемых результатов.

Значения $S_{фэ}$ в $мг/м^3$ выдаются органами Гидрометслужбы (собственниками данной информации) по запросам предприятий для измеряемых примесей по определенной форме, которая приводится ниже:

Город _____ Пункт наблюдений _____ Координаты: X = _____, Y= _____ м.

Примесь, $мг/м^3$	При скорости ветра 0-2 м/с	При скорости ветра более 3 м/с и направлениях			
		С	В	Ю	З
Диоксид азота и т.д.					

В практической работе, к сожалению, такое разделение значений $S_{фэ}$ остается невостребованным. Обычно, органы Госконтроля (эксперты) требуют учета наибольших значений $S_{фэ}$, которые в основном фиксируются при малых скоростях ветра, независимо от его направления.

Основные недостатки экспериментального определения $S_{фэ}$ сводятся к следующему:

1. Ограниченное количество пунктов наблюдений в больших городах или единичные пункты наблюдений в малых и средних городах приводит к тому, что значения $S_{фэ}$ определяются в одной или нескольких точках города, а их значения

распространяются на территорию всего города, что вызывает обоснованные возмущения у потребителей.

2. Количество измеряемых примесей в отдельных городах Сибири не превышает 25-27 ингредиентов, а, в основном, ограничено 5-6 ингредиентами. Но даже из такого количества контролируемых примесей невозможно получить адекватное количество фоновых концентраций, т.к. часть загрязняющих веществ измеряется только на одном посту или в один из сроков наблюдений и не имеет статистически обоснованного ряда наблюдений. Поэтому, как правило, фоновые концентрации определяются только для 4-5 основных примесей, в то время как в атмосферный воздух промышленных городов выбрасывается от 100 до 300 ингредиентов. Не имея значений фоновых концентраций по большинству выбрасываемых примесей и при этом осуществляя политику строительства, реконструкции или перепрофилирования промышленных предприятий, можно, не ведая того, значительно ухудшить загрязнение атмосферы городов, что непосредственно коснется здоровья населения.

3. В городах, где отсутствуют наблюдения за загрязнением атмосферного воздуха, значения $S_{ф}$ принимаются ориентировочно по количеству проживающего населения согласно [1]. Такой ориентировочный фон дается только для 4-х примесей и зачастую очень далек от истины.

4. Отсутствие наблюдений за концентрациями примесей в ночные сроки приводит к увеличению значений выдаваемого фона, т.к. ряд наблюдений теряет значительную часть низких концентраций, наблюдаемых в ночное время.

О п р е д е л е н и е з н а ч е н и й $S_{ф}$ р а с ч е т н ы м м е т о д о м.
Расчетный метод определения $S_{фр}$ основан на использовании данных инвентаризаций источников выбросов вредных веществ в атмосферу промышленных предприятий, автотранспорта и печного отопления частного жилого сектора.

Инвентаризация источников выбросов вредных веществ в атмосферу предполагает точное определение на местности как организованных (труб, фонарей и пр.), так и неорганизованных (пылящие поверхности, негерметичность оборудования, автомагистрали и пр.) источников выбросов, их параметров

(высоты, диаметра, объема и температуры отходящих газов), а также состава и количества выбрасываемых примесей.

Вал выбросов вредных веществ в атмосферу (г/с, т/год) определяется как инструментальными, так и расчетно-балансовыми методами. Инструментальные замеры в силу своей дороговизны, а самое главное из-за статистической недостоверности (делаются единичные замеры, приходящиеся на случайные режимы работы технологического оборудования, а потому не отражающие средней картины поступления эмиссий) применяются сравнительно редко и в основном для определения специфических выбросов отдельных производств. В подавляющем большинстве случаев вал выбросов определяется расчетными методами с помощью специальных методик, описывающих тот или иной технологический процесс. В настоящее время такие методики созданы для всех основных технологических процессов, имеющих на любом предприятии: сжигания топлива в котлах малой и большой производительности, сварочных и газорезных работ, деревообработки и металлообработки, покрасочных и разгрузочно-погрузочных работ, заправки на АЗС (и т.п.), а также от автотранспорта. Давность проведения инвентаризаций не должна также превышать 5 лет на момент проведения сводных расчетов. Данные инвентаризаций источников выбросов вредных веществ в атмосферу заносятся в программный комплекс, реализующий алгоритмы модели рассеивания примесей полуэмпирической теории турбулентной диффузии согласно нормативно-методическому документу ОНД-86 [2]. В данной работе в качестве программного комплекса была использована программа «Эра, версия 1.7», разработанная фирмой «Логос-плюс» (г. Новосибирск).

Методика позволяет рассчитывать максимально возможные значения приземных концентраций при так называемых «нормальных неблагоприятных метеорологических условиях», под которыми подразумевается опасная малая скорость ветра в таком сочетании вертикального и горизонтального турбулентного обмена, при котором наибольшее количество примесей сосредоточено у поверхности земли. Расчеты проводятся по прямоугольнику, охватывающему всю территорию города, с определенным шагом сетки. Обычно такой шаг для малых городов выбирается равным 500 м, для больших 1000 м. Прямоугольник вписывается в координатную сетку. В эту же сетку вписываются все источники

выбросов вредных веществ в атмосферу согласно данным инвентаризаций. Расчеты полей максимальных приземных концентраций проводятся по всем загрязняющим веществам, выбрасываемым в атмосферный воздух города, в каждом узле сетки расчетного прямоугольника.

Переход от полей максимальных приземных концентраций к фоновым концентрациям ($C_{фр}$) осуществляется согласно методике [2]. Детализация $C_{фр}$ по интервалам скоростей и направлений ветра не проводится. Считается, что рассчитанные значения $C_{фр}$ для середины квадратов, соответствуют максимальным значениям $C_{фр}$ в этом квадрате, т.к. получены для опасной скорости и направления ветра.

Карты-схемы со значениями фоновых концентраций оформляются в виде атласа карт для использования в оперативной работе. За последние годы такие атласы разработаны для гг. Обь, Искитим, Куйбышев, Татарск, Томск.

Преимущество расчетного метода определения фоновых концентраций над экспериментальным состоит в том, что они рассчитываются для всего спектра выбрасываемых примесей в атмосферу города с детальной информацией по всей рассматриваемой территории, что наглядно видно на рисунке 1, где представлены значения рассчитанных фоновых концентраций ($C_{фр}$) в долях ПДК_{мр} по пыли для одного из городов Западной Сибири. Как видно, потребитель может получить информацию о существующем фоне в каждой точке города, что не обеспечивает существующая сеть наблюдений, представленная шестью постами наблюдений.

Сравнение фоновых концентраций, полученных экспериментальным и расчетным методами, показывают их хорошую сходимость, особенно по основным загрязняющим веществам, при условии качественных и полных данных инвентаризаций источников выбросов вредных веществ в атмосферу. В случае больших расхождений экспериментальных и расчетных данных выявляются их причины. Например, в г. Томск фоновые концентрации, полученные экспериментальным методом ($C_{фэ}$) по формальдегиду, на всех постах наблюдений превышают ПДК_{мр} в 2-4 раза, в то время как $C_{фр}$ на этих же постах получилась равной всего 0,1-0,2 ПДК_{мр} [4]. Несоответствие $C_{фэ}$ и $C_{фр}$ может быть вызвано разными причинами, среди которых могут быть и несоблюдение необходимых требований при отборе и анализе проб воздуха на содержание в нем

формальдегида, приводящих к систематическому завышению данных наблюдений; и недобор инвентаризаций выбросов формальдегида на промышленных предприятиях и автотранспорте в центральной части города.

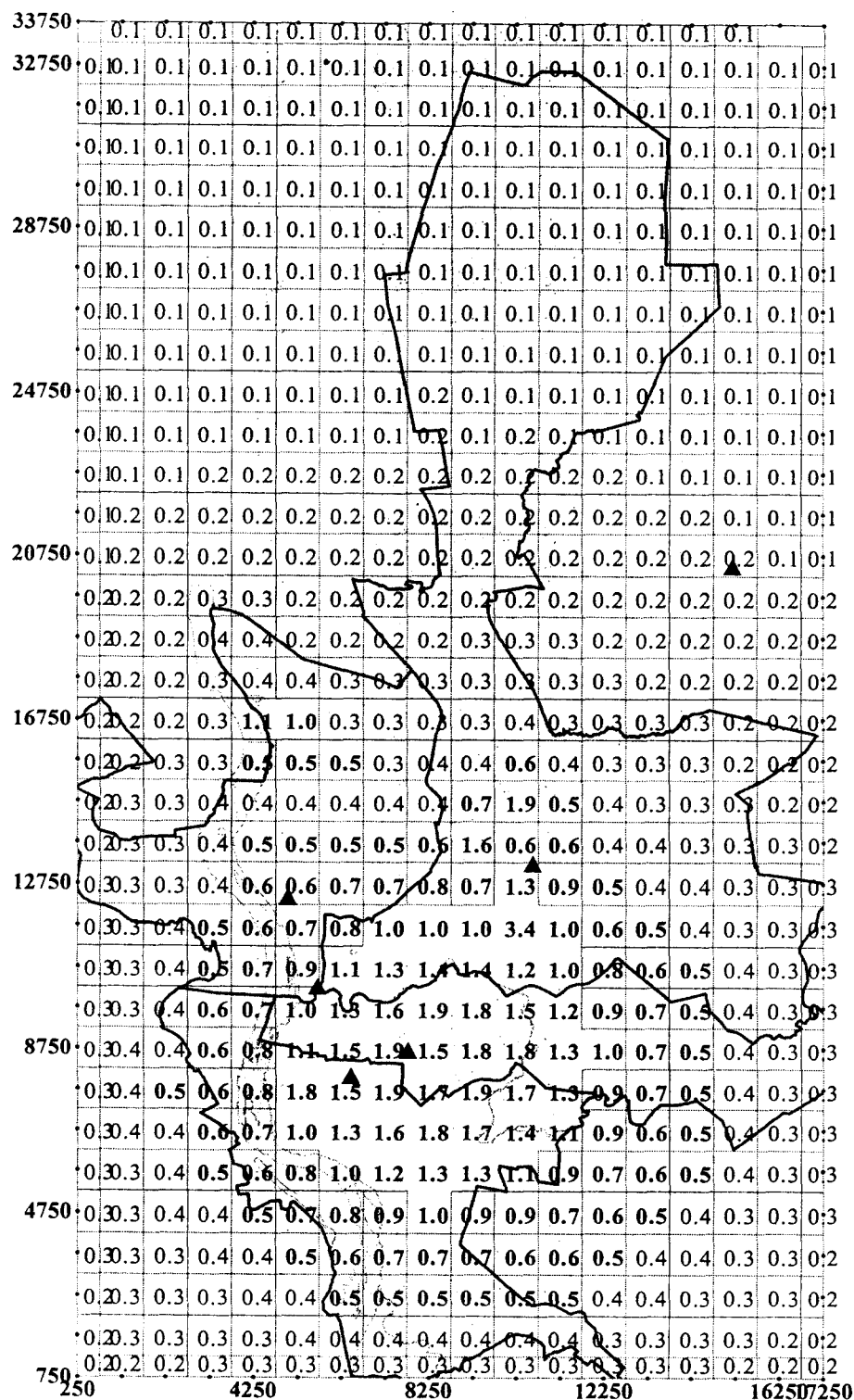


Рисунок 1. Значения расчетных фоновых концентраций пыли в одном из городов Западной Сибири (в долях ПДК). Условные обозначения:

Δ - пункты наблюдений за загрязнением атмосферного воздуха;
| — административные границы города и его районов

Возможны и другие причины, связанные с аномальным поведением и распространением данной примеси в зависимости от конкретных микроклиматических и орографических особенностей строения территорий города и геометрии расположения источников выбросов. Похожие ситуации наблюдаются и в некоторых других городах Западной Сибири. В любом случае, такие ситуации должны выноситься на уровень администраций городов и решаться в рамках городских (областных) экологических программ.

Значения фоновых концентраций, полученных расчетным путем (Сфр), ни в коем случае не отрицают экспериментального фона (Сфэ), а, наоборот, служат ему дополнением, а сам экспериментальный фон является эталоном достоверности инвентаризаций источников выбросов вредных веществ в атмосферу.

Основные недостатки применения расчетного фона загрязнения (Сфр) сводятся к следующему:

1. Метод очень трудоемок и полностью зависит от качества используемой инвентаризации источников выбросов вредных веществ в атмосферу.
2. Расчетные фоновые концентрации получаются как промежуточный продукт при
сводных расчетах полей концентраций города для установления нормативов предельно допустимых выбросов вредных веществ в атмосферу (ПДВ). Заказчиком таких работ выступают природоохранные службы города, они же являются и собственниками данной научно-технической продукции. В этом состоит вторая и самая главная проблема эффективного использования Сфр в оперативной работе органами Гидрометслужбы.

В настоящее время функции учета вала выбросов вредных веществ в атмосферу и их нормирования переданы Федеральной службе по экологическому, технологическому и атомному надзору (Ростехнадзор). Эта служба имеет свои отделения в каждом субъекте РФ, и они являются обладателями инвентаризаций источников выбросов вредных веществ в атмосферу всех промышленных предприятий, базирующихся в данном субъекте. У Гидрометслужбы доступа к такой информации не имеется.

Если бы обе Федеральные службы одного министерства договорились бы между собой об обмене информацией, выиграло бы общее дело.

Как Гидрометслужба, так и Ростехнадзор имеют коммерческий интерес в обладании расчетными данными по фоновым концентрациям. На наш взгляд, для более грамотного и эффективного обслуживания заинтересованных организаций такие данные должны быть в одних руках и безвозмездно передаваться Гидрометслужбе, на которую возложены обязанности контроля чистоты атмосферного воздуха в городах страны. Если бы обе Федеральные службы одного государства договорились бы между собой по этой проблеме, от этого выиграло бы общее дело.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Временные методические рекомендации. Фоновые концентрации для городов и поселков, где отсутствуют наблюдения за загрязнением атмосферы. Санкт-Петербург, 2001.
2. Методика расчета концентраций в атмосферном воздухе вредных веществ, содержащихся в выбросах предприятий. ОНД-86. Л.:Гидрометеиздат, 1987.
3. Руководство по контролю загрязнения атмосферы. РД.52.04.186-89. М., 1991.
4. Сводный том предельно допустимых выбросов (ПДВ) вредных веществ в атмосферу г.Томска/ СибНИГМИ. Новосибирск, 2005, рукопись
5. Указания по определению фоновых концентраций вредных веществ в городах и промышленных районах. Л.: ГГО, 1980.

СОДЕРЖАНИЕ ПРИЗЕМНОГО ОЗОНА В АТМОСФЕРНОМ ВОЗДУХЕ Г. НОВОСИБИРСК

В последнее время возрастает интерес к поведению приземного озона в различных географических районах РФ. В представленной статье анализируется ряд наблюдений за концентрациями приземного озона в условиях г. Новосибирска – крупного сибирского промышленного мегаполиса. Наблюдения за концентрациями приземного озона в г. Новосибирске были начаты в 2002 году. Сначала они носили эпизодический характер, а, начиная с 2003 года, стали стационарными. Наблюдения ведутся озономером типа 3-02.П-А в автоматическом режиме с выдачей 20-минутных средних концентраций и средних за сутки. Место установки прибора можно считать репрезентативным, т.к. оно находится на территории жилого массива вне зоны прямого воздействия промышленных предприятий и оживленных магистралей.

Суточный ход концентраций приземного озона средний за каждый месяц показан на рисунке 1. Как видно, в условиях г. Новосибирска в суточном ходе концентраций приземного озона наблюдаются два максимума: один ночной в 03-04 часа и другой дневной в 16 час. Причем, от месяца к месяцу в течение года интенсивность максимумов меняется местами. Зимой на первое место выдвигается ночной максимум. В это время он более интенсивный и продолжительный по времени. Весной, начиная с марта, летом и осенью, наоборот, более интенсивным и ярко выраженным становится дневной максимум. Если дневной максимум образуется под действием солнечных лучей в полуденное и послеполуденное время и интенсивного конвективного перемешивания, то природа ночного максимума пока не известна и наблюдается, по утверждению [1], только в городских условиях. В сельской местности такого явления не наблюдается.

Рис.1. Среднемесячный суточный ход концентраций озона, 2003 г.

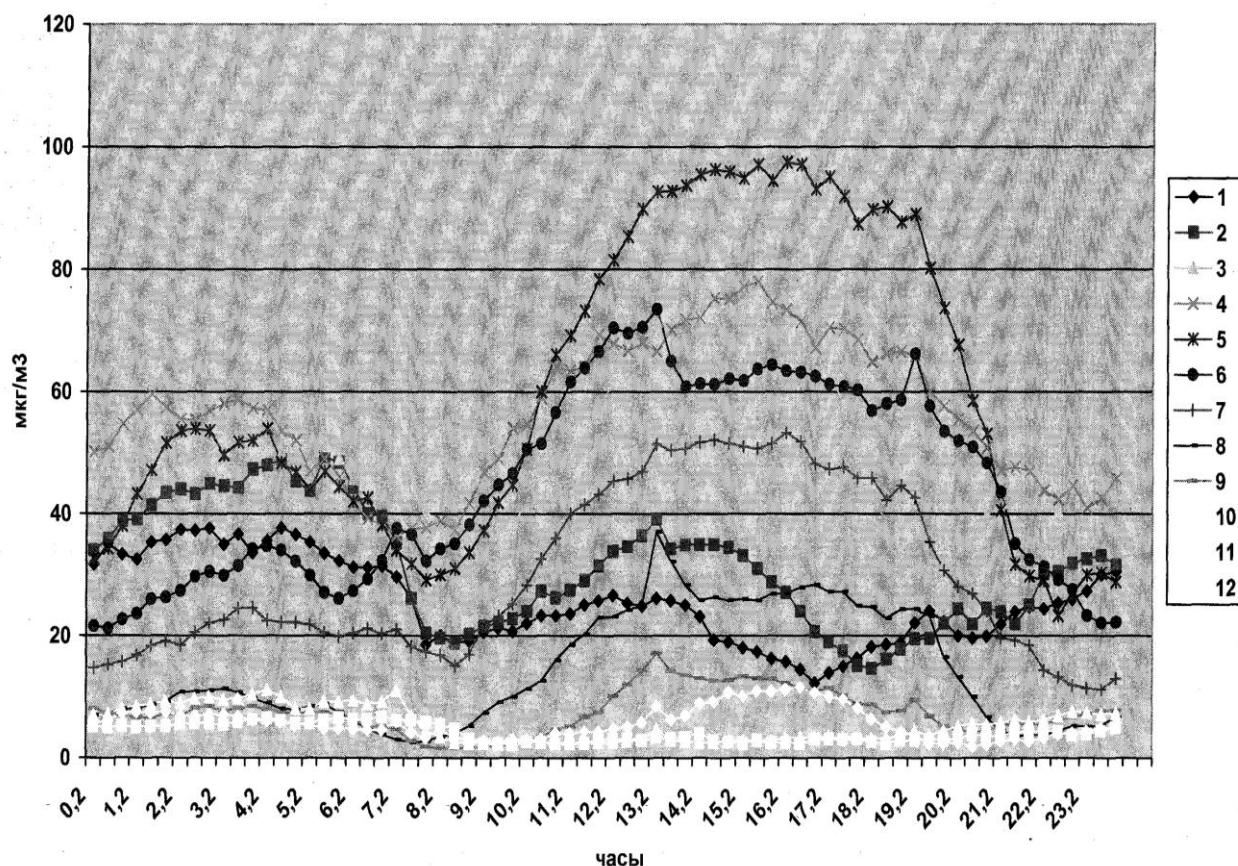


Рисунок 1. Среднемесячный суточный ход концентраций приземного озона в г. Новосибирск, 2003 год

Отличительной особенностью суточного хода концентраций озона в условиях г. Новосибирск является ежедневное уменьшение его концентраций до нулевых значений при условии отсутствия интервенции озона извне.

В годовом ходе концентраций приземного озона наблюдается один максимум в мае и минимум в октябре-ноябре (рисунок 2). Весенний максимум концентраций озона является естественным, т.е. не связанным с местными антропогенными факторами. Этот максимум обусловлен глобальным распределением озона в тропосфере и особенностями атмосферной циркуляции, когда скорость межсуточного изменения дневной солнечной радиации максимальна, и велико число дней со значительной амплитудой суточного хода приземной температуры воздуха.

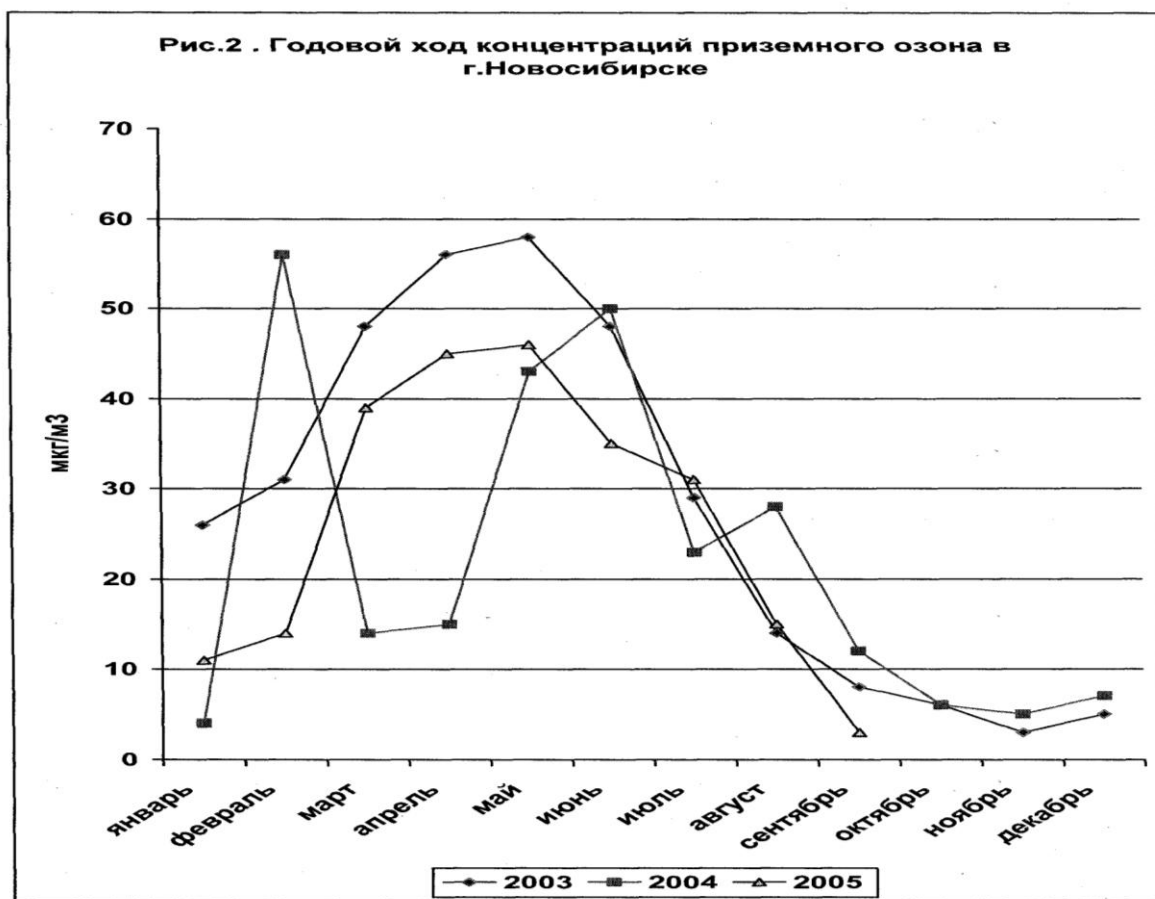


Рисунок 2. Годовой ход концентраций приземного озона в г. Новосибирск.

Минимальные значения концентраций приземного озона наблюдаются в октябре-ноябре после осеннего равноденствия (22-23.09), когда продолжительность дня уменьшается, а ночь становится все длиннее. В этот период среднесуточные и среднемесячные значения концентраций озона фиксируются на уровне 0-10 мкг/м^3 , что находится в пределах точности измерения прибора.

В отдельные годы (например, в 2004 г.) естественный годовой ход концентраций приземного озона нарушается и становится аномальным. В этот год наблюдалось три пика повышения концентраций: один в феврале, который по абсолютным значениям превысил весенне-летний (естественный); второй наблюдался в июне и третий – в августе. Вызвано ли такое аномальное поведение приземного озона в г. Новосибирск какими-то общими глобальными явлениями или связано с другими причинами, пока не ясно.

Озон является вредным веществом первого класса опасности с максимально разовой предельно допустимой концентрацией (ПДК_{мр}) в 160 мкг/м^3 и

среднесуточной предельно допустимой концентрацией (ПДКсс) 30 мкг/м^3 [3]. Так как уже в малых дозах озон влияет на здоровье людей и растения, оказывая отравляющее действие, Европейская секция Всемирной организации здравоохранения установила еще один гигиенический критерий, равный 120 мкг/м^3 при осреднении за 8-и часовой период [2].

В 2003 году число случаев с превышением концентраций ПДКсс составляло 128 дней, в 2004 году - 84 дня. Как правило, это превышение не поднималось выше 1-2 ПДКсс, хотя в отдельные сутки достигало 3-4 ПДКсс. В 2003 году самое высокое среднесуточное содержание приземного озона наблюдалось 12 апреля и составляло 120 мкг/м^3 ; в 2004 году 12 февраля и также 120 мкг/м^3 . Выше этого порога среднесуточные концентрации приземного озона в Новосибирске не поднимались. Средние концентрации приземного озона за год составляли в 2003 и 2004 гг. соответственно 28 и 23 мкг/м^3 , т.е. не превышали ПДКсс. Максимально разовые концентрации озона свой предел в 160 мкг/м^3 (ПДКмр) превышали крайне редко. В оба рассматриваемых года такие случаи наблюдались только в мае и составляли 1,3-1,4% от числа наблюдений в этом месяце или примерно 0,1% случаев за год (по три дня в оба года с 11 до 19 часов местного времени). Абсолютный максимум концентраций приземного озона в Новосибирске в 2003 году составил 202 мкг/м^3 (15 мая 2003 года) и 224 мкг/м^3 (19 мая 2004 года). Оценка загрязнения атмосферного воздуха г. Новосибирска приземным озоном в соответствии с критериями Всемирной организации здравоохранения показала, что периоды с осредненными концентрациями в 120 мкг/м^3 за 8-часовой период наблюдаются в основном весной, хотя в аномальные годы могут наблюдаться и в другие сезоны года. Как в 2003 г., так и в 2004 г. было выявлено по 8 случаев таких ситуаций.

Предварительный анализ наличия высоких концентраций приземного озона в Новосибирске выявил несколько причин их образования.

1. Майские максимумы наблюдались в мощных антициклонах при утренних глубоких инверсиях, которые быстро разрушались с восходом Солнца. В дневные часы отмечалось ясное небо, отсутствие облаков. В это время температура воздуха превышала $+30^\circ\text{C}$, а относительная влажность опускалась ниже 30%. Такие случаи можно охарактеризовать как естественное повышение концентраций озона за счет

максимальных значений солнечной радиации, присущей весенним месяцам, когда сочетаются высокая прозрачность атмосферы и большие высоты Солнца. В течение дня, когда все эти граничные условия выполнялись, приземные концентрации озона повышались до 160 -220 мкг/м³ и держались по 5-6 часов подряд в полуденное и послеполуденное время. Как только Солнце начинало опускаться, понижалась температура воздуха и увеличивалась относительная влажность, концентрации приземного озона опускались до 20-30 мкг/м³.

2. В качестве второй причины образования высоких концентраций озона можно выделить грозовую деятельность, что в какой-то степени подтверждено инструментальными показаниями. 21 июля 2004 года с 15 час 20 мин до 15 час 40 мин местного времени концентрации приземного озона повысились с 10 до 487 мкг/м³ и вновь упали через час до 5 мкг/м³. Затем в 17 час 00 мин вновь повысились до 207 мкг/м³ и упали через 40 минут до 12 мкг/м³. В эти периоды в городе двумя разрядами проходила сильная гроза с проливным дождем. За сутки выпало 7,6 мм осадков. Являлось ли это повышение концентраций приземного озона следствием грозовой деятельности или простым зашкаливанием прибора, говорить рано. В другие дни с грозами скачков концентраций озона не наблюдалось.

3. Третья причина – это периоды резкого повышения концентраций приземного озона, связанные с какими-то вторжениями его извне или стоком из стратосферы. В такие периоды концентрации приземного озона резко повышаются и держатся на высоком уровне несколько суток подряд. Причем такие ситуации могут наблюдаться в любое время года и суток.

Был проведен анализ одной из таких ситуаций, которая имела место 10-14 февраля 2004 года (рисунок 3) и привела к образованию нехарактерного зимнего максимума в годовом ходе озона в 2004 году. Первая декада февраля 2004 года заявила о себе высокими концентрациями озона, достигающими 80-125 мкг/м³ при обычных их значениях в это время порядка 10-30 мкг/м³. Синоптическая ситуация в этот период отличалась тем, что г. Новосибирск все время находился под влиянием юго-западных ветров.

Рис.4. Эпизод резкого повышения концентраций приземного озона в г.Новосибирске 10-14.02.04 г.

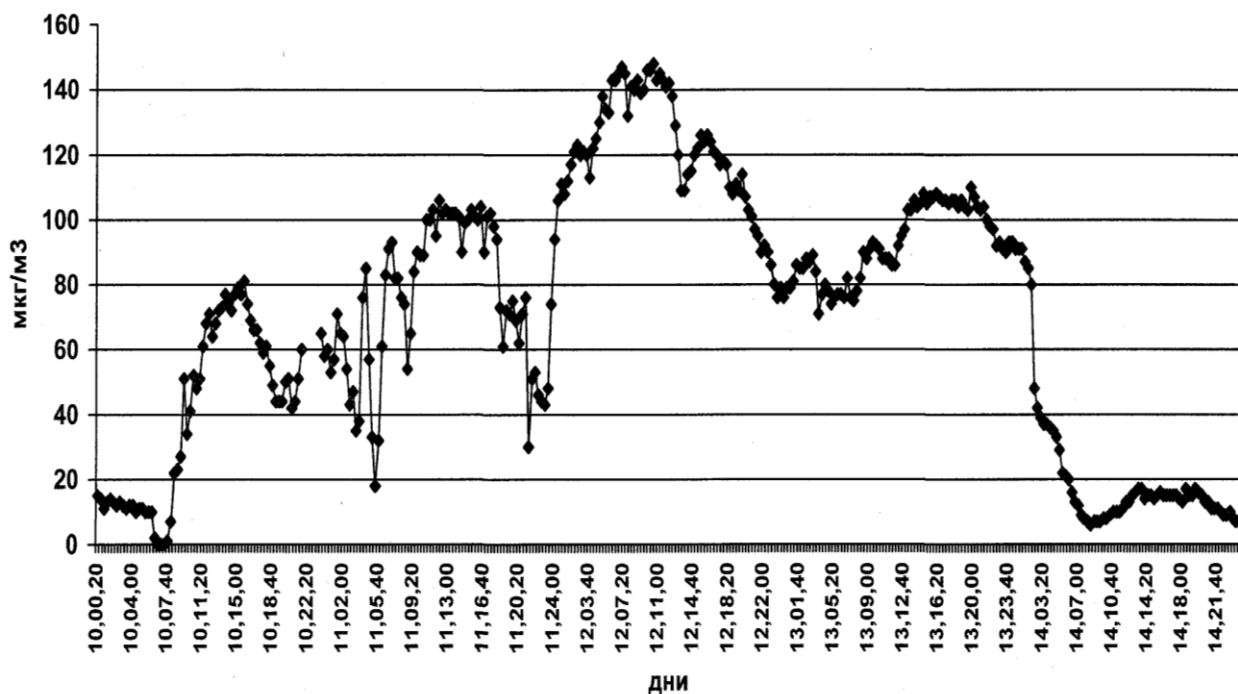


Рисунок 3. Эпизод резкого повышения концентраций приземного озона в г. Новосибирске 10-14.02.04 г.

Приземные карты за 10.02.04г. показывали обширную циклоническую область, которая занимала всю территорию ЕТС и Западной Сибири с вытянутой ложбиной на территорию Ирана и Ирака. 11.02.04г. на волне холодного фронта в районе Тегерана образовался приземный циклон, который к 12.02.04г. быстро стал набирать силу и стремительно смещаться на Новосибирск. В этот момент в городе отмечались самые высокие концентрации приземного озона. 13.02.04г. циклон подошел к Новосибирску, а 14.02.04г. ушел в низовья Енисея, после чего заток южного воздуха прекратился, и концентрации озона в городе снизились до своих обычных среднесезонных значений, равных 10-25 мкг/м³.

Южный циклон за весь рассматриваемый период оставался низким и не просматривался даже на высотах АТ-925 мбр. Он прошел через нашу территорию своей передней частью, движимый юго-западными ветрами, которые и обеспечили

перенос воздушных масс с территорий Ближнего Востока на Западную Сибирь (рисунок 4).

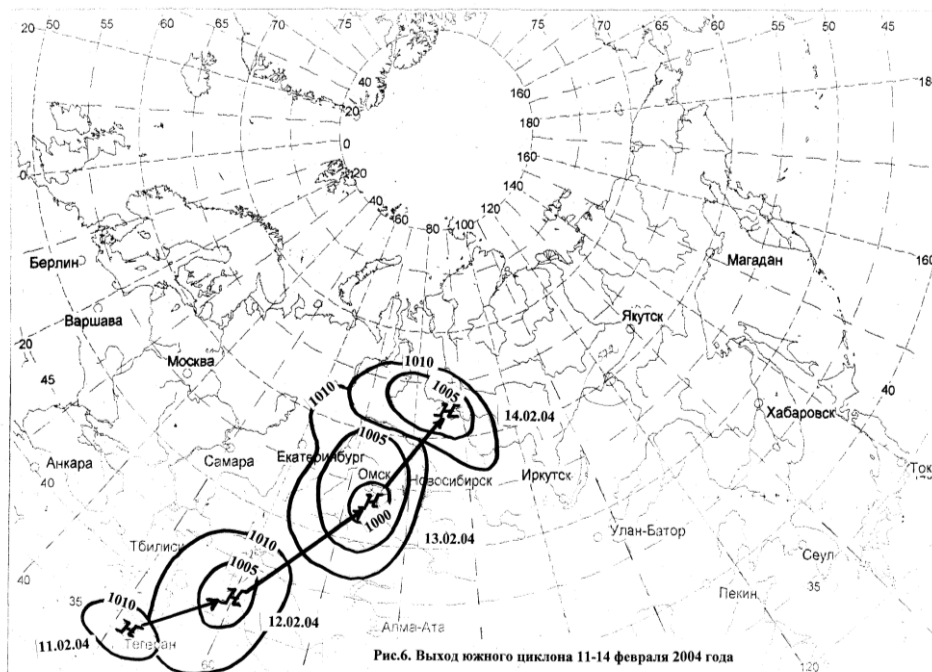


Рисунок 4. Выход южного циклона на территорию Западной Сибири 11-14 .02.2004 г.

Этот эпизод нас заинтересовал в том плане, что примерно в это же время в Интернете появились публикации NASA, обобщающие наблюдения со спутников. Эти наблюдения открыли «гигантское коричневое облако», сформировавшееся над южными районами Азии, которое быстро распространялось на межконтинентальные расстояния и оказывало воздействие на атмосферу в масштабах всей планеты. Это облако представляло собой довольно плотный, хорошо видимый со спутников «винегрет» из приземного озона, дыма, пыли и многих других загрязняющих веществ, сформировавшихся из-за индустриальной и сельскохозяйственной (начало посевных работ) деятельности на юге и востоке Азии в сочетании с рядом других погодных условий. Озон, как сообщает NASA, содержащийся в этом облаке, постепенно его покидал, поднимался несколько выше и растекался на большие расстояния. Не являются ли февральские высокие

концентрации приземного озона в г. Новосибирске результатом выноса южным циклоном такого воздуха с территорий Ближнего Востока?

В заключение анализа этого случая необходимо отметить тот факт, что в первой декаде февраля 2004 года в квартирах жителей, где на ночь были открыты форточки, пожелтели или погибли комнатные растения с нежной листвой (типа бегоний). Содержание других загрязняющих веществ в атмосферном воздухе г.Новосибирска в это время находилось в пределах нормы, среднесуточная температура воздуха колебалась от +1,0 до -15,0°C (отсутствовал сильный мороз), поэтому гибель комнатных растений вполне логично связать с необычно высокими концентрациями приземного озона в этот зимний месяц.

Второй эпизод резкого увеличения концентраций приземного озона в г.Новосибирске до уровней 160-200 мкг/м³ был зафиксирован 2-8 июля 2002 года. (К сожалению, эти данные носили прерывистый характер, и трудно определить точное время начала процесса, который продержался несколько суток подряд, практически не имея суточного хода).

Синоптический анализ данного эпизода выявил интересную картину.

Приземная карта в районе г.Новосибирска в этот период показывала размытое антициклональное поле. 03.07.02г. над районами Новосибирской области на АТ-925 мбр образовался циклон, который просматривался до высот АТ-200 мбр и даже АТ-100 мбр, т.е. до высот 12-16 км. Этот высотный циклон простоял над Новосибирском с 3 по 8 июля. Как только высотный циклон заполнился и ушел с территории Новосибирской области на северо-восток, концентрации приземного озона упали до своих обычных уровней, т.е. до 10-30 мкг/м³ (рисунок 5).

На наш взгляд, этот эпизод напрямую связан со стоком озона из стратосферы.

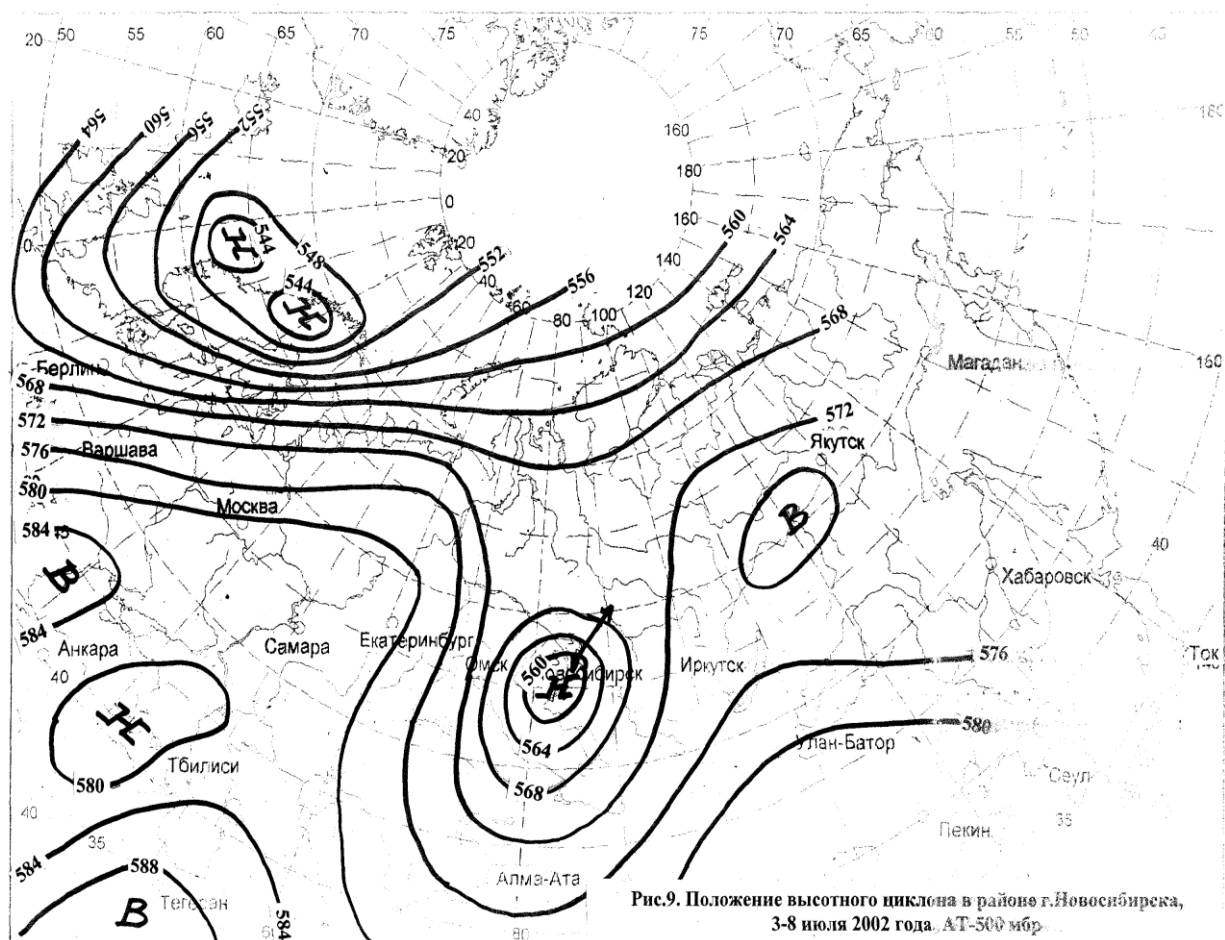


Рисунок 5. Положение высотного циклона в районе г. Новосибирска 3-8 июля 2002 года на АТ – 500 мбр.

Таким образом, для условий г.Новосибирска появление высоких концентраций приземного озона может быть вызвано различными причинами. Выявление этих причин – задача дальнейших исследований.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Звягинцев А.м. Основные характеристики изменчивости содержания озона в нижней тропосфере над Европой// Метеорология и гидрология. 2004. № 10.
2. Мониторинг качества атмосферного воздуха для оценки воздействия на здоровье человека/ Региональные публикации ВОЗ, Европейская секция. Копенгаген, 2002.
3. Перечень и коды веществ, загрязняющих атмосферный воздух. Санкт-Петербург, 2000.

ГИДРОЛОГИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ ЧЕРНОЗЕМОВ ЮЖНЫХ ТЯЖЕЛОГО ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКОГО СОСТАВА

Черноземы южные распространены в южной части степной зоны. При сходстве условий теплообеспеченности и атмосферного увлажнения важную роль в формировании гидрологического состояния этих черноземов играет геолого-геоморфологический фактор.

При недостатке атмосферной влаги тяжелый гранулометрический состав материнских пород обеспечивает значительное количество почвенной влаги, что делает такие почвы привлекательными в производственном отношении; с другой стороны, предопределяет небольшие запасы доступной растениям влаги, что ставит вопрос о наиболее рациональном использовании таких почв. Поэтому изучение гидрологического состояния тяжелых по гранулометрическому составу почв южной части степной зоны является актуальной практической задачей.

В степной зоне на низменных слабо расчлененных равнинах, сложенных тяжелыми породами, с близким залеганием грунтовых вод развиваются плакорные почвы с признаками, присущими гидроморфным почвам: отсутствием «мертвого» горизонта, засоленностью и следами оглеения в нижней части профиля. Эти признаки затрудняют диагностику и ставят вопрос о степени и формах гидроморфности почв.

Диагностика таких почв по особенностям морфологии и экологии почвообразования не всегда надежна (тем более, в условиях континентального климата с заметной многолетней изменчивостью), поэтому требуются наблюдения за особенностями гидрологического состояния почв.

Типичным районом развития черноземов южных с преобладанием тяжелого гранулометрического состава является участок степи на Иртыш-Ишимском междуречье (Ишимская степь), являющийся одним из наиболее освоенных под земледелие районов Западной Сибири. Целью исследования является выявление особенностей гидрологического состояния черноземов южных тяжелого

гранулометрического состава на примере черноземов Ишимской степи, природы и степени их гидроморфности.

Принятое в отечественном почвоведении разделение почв на автоморфные, полугидроморфные и гидроморфные основывается на особенностях их гидрологического состояния – наличии (отсутствии) и степени постоянства переувлажнения их профиля и является по существу гидролого-генетической классификацией почв. Морфологические проявления постоянного или периодического, современного или прошлого переувлажнения не всегда могут быть адекватно определены. Учет геолого-геоморфологических условий формирования почв для их диагностики по степени морфности также оправдан не во всех случаях. В связи с этим диагностика почв по морфности должна основываться на изучении их гидрологического состояния.

Характеристика гидрологического состояния почв включает анализ факторов его формирования, описание особенностей свойств почвенной влаги, оценку водных свойств почв, рассмотрение элементов водного режима и характеристику его главных особенностей, анализ участия почвенной влаги в процессах почвообразования и в жизни растений.

Вопрос разнообразия и классификации гидрологических состояний почв в литературе не систематизирован. Можно предположить, что существуют состояние переувлажнения почвенного профиля, состояния оптимального и недостаточного увлажнения. Понятие «переувлажнение почвы» не является общепринятым. В трактовке А.А. Роде [1] под переувлажнением почвы понимается сохранение ее влажности выше уровня наименьшей влагоемкости в течение времени, превышающего необходимое для просачивания гравитационной влаги. По-видимому, под оптимальным увлажнением почвы можно понимать ее влажность на уровне 70-100% наименьшей влагоемкости, при которой в почве отмечается наиболее благоприятное соотношение между легкодоступной влагой и воздушной фазой для существования и функционирования живых организмов, и для развития почвенных процессов, предопределяемых природно-климатическими условиями почвообразования. Под недостаточным увлажнением следует, вероятно, понимать ее влажность на уровне влажности завядания, при которой растения проявляют признаки устойчивого завядания, и происходит торможение почвенных процессов,

развивающихся при данных природно-климатических условиях.

Важным моментом изучения гидрологического состояния почв является исследование факторов его формирования. Земная поверхность Ишимской степи отличается минимальными уклонами (0,0002-0,0008), что создает неблагоприятные условия для формирования стока. Повсеместно распространены микропонижения. Почвы в нижней части микропонижений обеспечиваются ограниченным дополнительным поверхностным увлажнением, которое способствует сквозному их промачиванию до грунтовых вод в весеннее время.

Встречаются крупные (диаметром до 6 км) неглубоко врезанные (до 10 м) котловины. На дне котловин отмечаются минерализованные озера, служащие водоприемниками с территории котловин в период снеготаяния и обеспечивающие значительное испарение влаги в теплый сезон года. Почвообразующие и подстилающие породы отличаются засоленностью, тяжелым гранулометрическим составом с высоким содержанием илистой фракции (до 45%).

Холодные (температура января – 18,5-19,0°) продолжительные (5 месяцев) зимы определяют длительное (5-6 месяцев) и глубокое (до 2, 0 м) промерзание почв. Ресурсы тепла (сумма активных температур 1800-1900°) обеспечивают вызревание яровых зерновых культур и высокую испаряемость (более 500 мм). Запасы снеготалой влаги (70-90 мм) недостаточны для сквозного промачивания плакорных почвогрунтов. Минерализованные грунтовые воды залегают на глубине 4-10 м на плакорах и 1,5-4 м в отрицательных формах рельефа. Яровые зерновые культуры обеспечивают сходные с естественными разнотравно-злаковыми сообществами мощность эваподесуктивного слоя и степень его иссушения. Почвенный покров района исследований представлен лугово-степными комплексами, образованными черноземными почвами разной степени гидроморфности, в том числе черноземами южными. По особенностям морфологии тяжелосуглинистые черноземы Ишимской степи, формирующиеся при залегании грунтовых вод на глубине 4-6 м, в слое активного влагооборота являются типичными автоморфными почвами. В нижних горизонтах и в подстилающих породах отмечаются признаки, характерные для гидроморфных почв.

Гранулометрический состав во многом определяет особенности гидрологического состояния почв. Практически одинаковый тяжелосуглинистый

состав с высоким содержанием илистой фракции на плакорах и в отрицательных формах рельефа обуславливает господство микропор в структуре пористости (до 73% в горизонтах В и С) и большую суммарную поверхность твердой фазы почвогрунтов. В таких почвогрунтах влага удерживается преимущественно сорбционными силами и является в основном пленочной и пленочно-стыковой. Небольшой объем средних и крупных пор обуславливает низкое содержание капиллярной и гравитационной влаги – не более 4-6% объема почвы.

Микропористый высокоилистый гранулометрический состав предопределяет высокие гигроскопичность (8-14% объема), водоудерживающую способность (наименьшая влагоемкость около 30% объема) и увлажненность (на уровне 70-100% наименьшей влагоемкости) почв; низкие водопроницаемость (до 6-12 мм/час) и пористость аэрации почв при влажности на уровне наименьшей влагоемкости (9-20% пористости).

Поскольку плакорные почвы Ишимской степи развиваются при различном, в том числе и неглубоком, залегании грунтовых вод, важно установить степень влияния этих вод на почвы. В отрицательных формах рельефа уровень грунтовых вод опускается с более высокой скоростью в летнее и зимнее время по сравнению с осенним сезоном. Интенсивное летнее опускание связано с расходом капиллярной влаги на подпитку корнеобитаемого слоя (до 30 мм), а зимнее - на расход в слой сезонного намерзания (до 50 мм), из которого влага частично расходуется на десукцию. Для грунтовых вод под черноземами южными Ишимской степи характерно равномерное их опускание в течение лета, осени и зимы, что свидетельствует о практическом неучастии этих вод во влагообороте с атмосферой. Для уточнения диагностики плакорных почв важно установить особенности режима влажности и водного режима почв.

В начале гидрологического года мощность слоя иссушения под яровыми зерновыми достигает 0,6-0,8 м в почвах плакоров и 0,8-1,2 м в почвах отрицательных форм рельефа, дефицит продуктивной влаги в нем – 77-150 мм. Граница между зоной иссушения и горизонтами насыщения в почвах проявляется отчетливо, что свидетельствует о чрезвычайно низкой способности к восходящему капиллярному передвижению влаги, находящейся преимущественно в пленочном виде, несмотря на близость грунтовых вод. В осенний период дефицит влажности

в слое иссушения восполняется слабо – даже во влажную осень не более, чем на 40% или 60 мм.

Намерзание влаги в промерзающем слое слабо влияет на восполнение дефицита влаги в слое иссушения в почвах отрицательных форм рельефа и практически не влияет на влажность этого слоя плакорных почв. В результате термоградиентной миграции влаги из нижележащих горизонтов влажность слоя намерзания на глубине 0,8-1,7 м повышается до уровня наименьшей влагоемкости и более, что способствует формированию и поддержанию условий анаэробизиса в увлажненной подпочвенной толще.

Решающая роль в восполнении запасов почвенной влаги принадлежит снеготалым водам, за счет которых прибавка влаги в черноземах может достигать 90 мм (45% от суммы зимне-весенних осадков), а в почвах понижений – 120 мм (60% суммы зимне-весенних осадков).

Различия в водном режиме почв обуславливаются их неодинаковым положением в рельефе и разной глубиной залегания грунтовых вод. Почвы микропонижений с уровнем грунтовых вод 3,5 м имеют периодически промывной тип водного режима, подтип атмосферного питания с дополнительным поверхностным, класс чередующегося сквозного и несквозного наименьшего насыщения. Почвы обширных котловин с уровнем грунтовых вод менее 2,6 м имеют десуктивно-выпотной тип, подтип атмосферного питания с дополнительным ограниченным грунтовым, класс периодического слабовыраженного капиллярного насыщения.

Плакорные почвы с уровнем грунтовых вод 4,2 м и глубже имеют непромывной тип водного режима, подтип атмосферного питания, класс несквозного наименьшего насыщения в слое активного влагооборота и типичного для черноземов Ишимской степи постоянного насыщения, близкого к наименьшему, нижележащей толщ. В этой толще в результате намерзания влаги создаются условия для процесса оглеения.

Своеобразная «подмоченность» черноземов южных Ишимской степи есть результат в том числе и преобладания в структуре севооборота яровых зерновых культур, не обеспечивающих столь глубокого и сильного иссушения почвогрунтов, как бобовые. Под люцерной 3-4-го года жизни в течение периода вегетации

профиль плакорного почвогрунта иссушен до уровня влажности завядания на глубину до 2,0 м.

Поскольку корнеобитаемый слой почв плакоров не испытывает подпитки водами капиллярной каймы близлежащих грунтовых вод в объемах, фиксируемых полевыми методами измерения, почвы плакорных участков водоразделов в слое активного влагооборота можно считать автоморфными – черноземами южными. Автоморфность этого слоя представляется динамической, т.к. скорость и масштабы эваподесуктивного иссушения данного слоя в высокоилистых почвогрунтах во много раз превышают скорость и масштабы его пленочно-капиллярной подпитки от расположенных на глубине 4-6 м грунтовых вод, отличающихся низкой геохимической активностью.

В постоянно высоко увлажненных нижних слоях плакорных почвогрунтов развивается гидроморфное почвообразование.

Засоление тяжелосуглинистых черноземов южных Ишимской степи связано с поступлением, перераспределением нисходящими токами влаги и частичной метаморфизацией солей, поступающих из атмосферы [2,3]. Грунтовые воды не принимали и не принимают участия в формировании солевых профилей плакорных почв. Почвообразующие породы Ишимской степи формировались в условиях перигляциального климата 25-12 тыс. лет назад в субэзральной обстановке. В эпоху сартанского похолодания слой активного влагооборота плакорных ландшафтов юга Ишимской равнины не испытывал переувлажнения подпрудными или надмерзлотными водами. Вероятно, в течение голоцена климат оставался аридным, благоприятным для сухостепного и степного почвообразования.

Основные экологические аспекты гидрологического состояния почв сводятся к следующему. Постоянно высокое увлажнение высокоилистых почвогрунтов Ишимской степи обуславливает (помимо небольшой глубины промачивания почв, незначительной весенней прибавки влаги в корнеобитаемом слое, низкой пористости аэрации и засоленности нижних слоев почвогрунтов) длительное сохранение отрицательных температур в глубоких слоях почвогрунтов (до третьей декады мая), позднее прогревание корнеобитаемого слоя до активных температур (в третьей декаде июня), непродолжительное пребывание этих температур в пахотном слое (100-130 дней).

Хозяйственная деятельность по-разному связана с гидрологическим состоянием тяжелосуглинистых черноземов. Лесополосы способствуют подъему грунтовых вод и увеличению «подмоченности» плакорных почв. «Подмоченность» черноземов несколько уменьшает континентальность их климата, но не улучшает условий культивирования яровых зерновых. Для многолетних трав (люцерна) «подмоченность» является благоприятным фактором в первые два года вегетации.

Таким образом, гидрологическое состояние черноземов южных тяжелого гранулометрического состава предопределяет дифференциацию их профиля по морфности. Слой активного влагооборота развивается в автоморфном режиме, который является динамическим феноменом. В нижележащих горизонтах фиксируется периодическое переувлажнение и признаки гидроморфности.

Почвенно-экологическими следствиями гидрологического состояния тяжелосуглинистых черноземов являются в целом менее благоприятные условия для развития яровых зерновых культур по сравнению южными черноземами более легкого гранулометрического состава.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

3. Роде А.А. К вопросу о понятии гидроморфности почв в применении к классификации «гидроморфных» почв степной, сухостепной и полупустынной зон // Генезис почв и современные процессы почвообразования. М.: Наука, 1984. С. 146-159.
4. Сеньков А.А. Особенности засоления почв, подстилающих пород и грунтовых вод // Черноземы: свойства и особенности орошения. Новосибирск: Наука, 1988. С.57-71.
5. Сеньков А.А. Баланс карбонатов в почвах юга Ишимской равнины // Современные проблемы почвоведения в Сибири. Томск, 2000. Т.2. С.419-421.

О ПРИМЕНЕНИИ ДИНАМИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ФОРМИРОВАНИЯ УРОЖАЯ КАРТОФЕЛЯ С СУТОЧНЫМ РАЗРЕШЕНИЕМ ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ УРОЖАЙНОСТИ В УСЛОВИЯХ СИБИРИ

Агрометеорологическая оценка условий формирования урожая в течение вегетационного периода и прогноз урожайности ведущих продовольственных культур Сибири стоят в ряду главных аргументов принятия хозяйственных и административных мер по обеспечению продовольствием населения региона. Степень достоверности оценок условий вегетации и успешность прогнозирования урожайности сельскохозяйственных культур тесно зависят от полноты и объективности учета комплекса факторов внешней среды, влияющих на продукционный процесс растений.

До последнего времени при составлении прогнозов средней урожайности картофеля по территории отдельных субъектов Сибирского региона применялись методы, основу которых составляют уравнения связи, ориентированные на расчет среднего уровня урожайности в общественном секторе производства (колхозы и совхозы), в котором на период разработки методов были размещены основные посевные площади этой важной продовольственной культуры [4]. В качестве прогностических параметров в этих методах использованы преимущественно оценки временной тенденции урожайности и агрометеорологические характеристики посевов и среды их обитания, такие, как данные биометрических наблюдений за элементами продуктивности и инструментальных наблюдений за влажностью почвы под культурой, комплексные характеристики водно-теплового баланса и другие.

Новые условия хозяйствования повлекли за собой как смещение структуры посевных площадей, занимаемых картофелем, преимущественно в частный сектор производства, так и изменение относительной однородности агротехнических приемов и экономических условий возделывания. Одновременно с этим, за последние 10-15 лет существенно снизилась степень освещенности территории

данными агрометеорологических наблюдений по картофелю, что в свою очередь вызвало затруднения в применении традиционных подходов для решения задач агрометеорологического обеспечения производства картофеля в регионе. В связи с этим возникла необходимость совершенствования научных основ и создания методов прогноза урожайности картофеля, удовлетворяющих современным требованиям:

- применимых для оценки ожидаемых величин урожайности по всем категориям хозяйств, включая население;
- ориентированных на использование в качестве исходной данных преимущественно материалы метеорологических наблюдений;
- технологичных, позволяющих автоматизировать процесс расчета прогнозируемых характеристик, используя данные наблюдений, поступающих по каналам связи.

Настоящая работа посвящена обсуждению методологии применения динамической модели формирования урожая картофеля в качестве средства расчетов при прогнозировании урожайности и анализу первых результатов ее практического использования для целей агрометеорологического обеспечения производства картофеля по территории Новосибирской области и Красноярского края.

Динамические модели, описывающие процессы формирования урожая растений, позволяют наиболее полно использовать массовую информацию о параметрах внешней среды, оказывающих влияние на интенсивность этих процессов в сочетании с современными знаниями о сложнейшей экологической системе "почва-растение-атмосфера". Разработанные для конкретной культуры и адаптированные для природно-климатических условий рассматриваемой территории, они могут служить в качестве средства расчетов характеристик растительного покрова и среды его обитания при любых реально заданных условиях произрастания на заданный момент вегетации.

Отечественной агрометеорологической наукой достигнуты значительные успехи в разработке теоретической базы и прикладного динамического моделирования для целей агрометеорологического обеспечения производства сельскохозяйственных культур, в том числе для расчетов количественной

оценки агрометеорологических условий формирования урожая за отдельные отрезки вегетации и для прогнозирования урожайности [7,9]. Впервые использование динамической модели в качестве средства расчета ожидаемой урожайности было предложено Полевым А. Н. [7].

В практике агрометеорологического прогнозирования урожайности сельскохозяйственных культур широко применяется подход, при котором ряды урожайности (Y_t) рассматриваются как сумма двух слагаемых - детерминированной составляющей ($\zeta(t)$) и случайных отклонений от нее (δt):

$$Y(t) = \zeta(t) + \delta t \quad (1)$$

Первая из них представляет собой функцию времени (тренд) и характеризуется как тенденцией изменения почвенно-климатических условий, так и уровнем культуры земледелия, включающим в себя внедрение новых сортов, мелиоративных мероприятий и т.п. Составляющая, характеризующая отклонения урожайности от сложившейся тенденции, определяется агрометеорологическими условиями вегетационного периода конкретных лет.

В рассматриваемом подходе [7] динамическая модель использовалась в качестве средства расчета ожидаемых отклонений урожайности от тренда, а именно, для определения степени отличия сложившихся на дату составления прогноза агрометеорологических условий формирования урожая, относительно средних многолетних. Мерой такого отличия (η) является отношение конечных урожаев, рассчитанных по фактическим (Y_f) и средним многолетним данным (Y_n) за период вегетации, предшествующий составлению прогноза:

$$\eta = \frac{Y_f}{Y_n} \cdot 100\% \quad (2)$$

Ожидаемая величина урожайности при этом будет равна:

$$Y(t) = 0.01 Y_T \eta, \quad (3)$$

где: Y_T - ожидаемая урожайность, рассчитанная по тренду.

Применение такого подхода сопряжено с рядом отрицательных моментов, связанных, прежде всего, с использованием сценария климатических норм. Такой сценарий нереален, ему нет аналогов в природных условиях. Кроме того, рядом авторов [8, 11] показано, что использование в динамической модели в качестве

исходных данных климатических норм вызывает методическую ошибку - существенное повышение рассчитанных значений урожайности.

Другим препятствием для применения рассмотренной методологии прогнозирования в рамках отдельных административных территорий может быть отсутствие значимого тренда урожайности. Так, тренд средней урожайности картофеля всех категорий хозяйств по Новосибирской области за период 1971-1995 гг. характеризуется коэффициентом корреляции, равным 0,032 при значимой его величине на 5%-ном уровне значимости 0,396, а за период 1971-2000 гг. - соответственно 0,053 при значимом уровне, равном 0,361. Не достигает значимой величины и коэффициент корреляции тренда средней биологической продуктивности картофеля перед уборкой по данным определения прироста клубней за тот же временной ряд, хотя и значительно ближе к ней по сравнению с трендом средней урожайности: например, за 25-летний период он равен 0,348 при значимой величине 0,396.

Аналогичны оценки трендов средних характеристик продуктивности картофеля по территории Красноярского края. Тренд средней урожайности картофеля всех категорий хозяйств по Красноярскому краю за 1971-1996 гг. характеризует коэффициент корреляции, равный 0,351 при значимой величине на 5%-ном уровне значимости 0,404. За период 1971-2001 гг. соответствующие оценки имеют значения 0,261 и 0,380. Коэффициент корреляции тренда средней биологической продуктивности картофеля перед уборкой по данным определения прироста клубней за 1971-1996 гг. равен 0,347 при значимой величине 0,388.

Следует отметить, что для практических целей авторами рассмотренной методологии [7] использовалась преимущественно динамическая модель с шагом по времени, равным одной декаде. Опыт применения динамико-статистического подхода для целей агрометеорологического обеспечения картофелеводства в Западной Сибири [5, 6] показал, что в условиях резко континентального климата, характеризующегося большой вероятностью значительных колебаний погодных условий в течение любой декады вегетационного периода, для этих целей необходимы модели большей разрешающей способности.

В предлагаемом подходе сделана попытка избежать рассмотренных ограничений применения динамико-статистических методов прогнозирования продуктивности сельскохозяйственных культур.

Разработка метода выполнялась с ориентацией на принятый в гидрометеорологической службе оперативный срок составления прогноза урожайности картофеля - 1-3 августа - и соответствующие критерии оправдываемости.

Для реализации поставленных задач в качестве средства расчетов выбрана динамико-статистическая модель формирования урожая картофеля, разработанная для условий Западной Сибири на материалах специальных полевых экспериментальных наблюдений [3]. Она базируется на подходе и одном из вариантов комплексной динамикостатистической модели агроценоза "ПОГОДА - УРОЖАЙ" [9, 10].

Модель апробирована в качестве средства агрометеорологических расчетов [5, 6]. Она позволяет рассчитать при любых реально заданных метеорологических условиях на каждые сутки вегетационного периода от даты появления всходов до увядания ботвы (или уборки, если увядание ботвы не наблюдалось) величины характеристик посева и среды его обитания, представляющие интерес для целей агрометеорологического обеспечения производства картофеля:

- сухую биомассу отдельных органов растения и урожай хозяйственно ценного органа;
- относительную площадь листьев (листовой индекс);
- общее увлажнение отдельных слоев почвы;
- сумму осадков, эффективных температур воздуха, испарения и транспирации нарастающим итогом от начала расчетного периода (даты всходов) и другие характеристики.

Шаг модели по времени (равен одним суткам) позволяет с ее помощью выполнять численные эксперименты различной направленности, изменяя необходимым образом входной поток информации.

Для задания начальных условий на дату массовых всходов необходимо по каждой станции, включенной в расчет, располагать следующей агрометеорологической информацией:

- фенологической - даты появления массовых всходов, увядания ботвы, уборки;
- биометрической - густота стояния растений, биомасса отдельных органов стандартного растения на дату массовых всходов;
- инструментального определения запасов влаги в отдельных слоях корнеобитаемого слоя почвы;
- агрогидрологическими свойствами почв в полном объеме.

В условиях недостаточной освещенности территории данными агрометеорологических наблюдений по картофелю, а также, принимая во внимание то, что прогнозируемая величина урожайности является осредненной по территории характеристикой, для задания начальных условий выполнения расчетов при помощи динамической модели приняты следующие допуски:

- считать, что по каждой станции модельный посев обладает средними многолетними величинами перечисленных фенологических и биометрических параметров,
- исходные влагозапасы почвы модельного посева могут быть заданы в фоновом виде, т.е., при отсутствии данных наблюдений за влажностью почвы на поле под картофелем в качестве исходных влагозапасов принимаются данные наблюдений по одной из пропашных культур или по яровой пшенице.

Для достижения адекватного модельного отражения влияния изменений условий внешней среды на продукционный процесс картофеля в конкретных природно-климатических условиях необходима адаптация динамической модели путем уточнения величин параметров ее функций на материалах агрометеорологических наблюдений исследуемой территории. Адаптация модели выполнена на материалах территориальных статистических управлений и данных стандартных агрометеорологических наблюдений наиболее информативных опорных гидрометеорологических станций за 1966-1995 гг. по шести станциям Новосибирской области и за 1971-1996 гг. по девяти станциям Красноярского края. Методом итерационного подбора получены оптимальные величины параметров, наиболее сильно влияющих на расчет текущих значений биомассы и влажности почвы.

Адаптация выполнена для расчетов на двух уровнях продуктивности картофеля - биологической продуктивности (версия модели "Прирост") и фактической урожайности по всем категориям хозяйств (версии модели "Урожай").

Для оценки согласования рассчитанных и наблюдаемых характеристик применен метод корреляционного анализа. Оптимальные величины параметров модели определялись на основе анализа оценок согласования результатов модельных расчетов и данных определения прироста клубней по опорным станциям - для версии модели "Прирост", и данных территориальных статистических управлений о средней урожайности по всем категориям хозяйств - для модели "Урожай". Для этого решалась задача максимального пошагового приближения рассчитанных при помощи модели и фактически наблюдаемых на конец вегетации величин показателей продуктивности картофеля - средних значений веса клубней по результатам определения прироста или средней по территории урожайности (в зависимости от версии модели) и запасов продуктивной влаги в почве. Степень согласования рассчитанных и фактических средних величин рассмотренных характеристик представлены в таблицах 1-2.

Согласно таблице 1, в результате адаптации достаточная теснота согласования характеристик продуктивности достигнута по большинству представленных вариантов, за исключением версии "Прирост" по Красноярскому краю. По показателю средних величин продуктивных влагозапасов корнеобитаемого слоя почвы (0-50 см) на конец вегетационного периода по Новосибирской области, получен значимый уровень корреляции, кроме оценки по версии "Урожай". Более высокие оценки обеспеченности расчетов с ошибками, равными и менее заданных величин, получены по версии "Урожай". Они преимущественно идентичны для обоих регионов (таблица 2).

Невысокие оценки согласования по показателю увлажнения для Новосибирской области, возможно, являются результатом использования более обобщенных данных по агрогидрологическим свойствам почв в исходной базе данных, по сравнению с информацией по Красноярскому краю.

Таблица 1

**Теснота согласования рассчитанных и фактических средних величин
продуктивности картофеля и увлажнения почвы перед уборкой**

Показатель	Коэффициент корреляции	
	r	$r_{\text{знач.}}$

ВЕРСИЯ МОДЕЛИ "ПРИРОСТ"

Новосибирская область

Биологическая продуктивность картофеля перед уборкой	0,704	0,396
Влагозапасы почвы перед уборкой в слоях: 0-20 см	0,381	0,456
0-50 см	0,556	0,456

Красноярский край

Биологическая продуктивность картофеля перед уборкой	0,320	0,388
Влагозапасы почвы перед уборкой в слоях: 0-20 см	0,347	0,396
0-50 см	0,516	0,396

ВЕРСИЯ МОДЕЛИ "УРОЖАЙ"

Новосибирская область

Урожайность картофеля по всем категориям хозяйств	0,533	0,396
Влагозапасы почвы перед уборкой в слоях: 0-20 см	0,143	0,404
0-50 см	0,205	0,404

Красноярский край

Урожайность картофеля по всем категориям хозяйств	0,566	0,388
Влагозапасы почвы перед уборкой в слоях: 0-20 см	0,502	0,388
0-50 см	0,514	0,388

Таблица 2

Средние значения и обеспеченность (%) разных величин относительных отклонений рассчитанных и фактических величин агрометеорологических показателей

Показатель	Среднее отклонение, %	Обеспеченность отклонений разной величины, %		
		откл.<	обесп.	
1	2	3	4	
ВЕРСИЯ МОДЕЛИ "ПРИРОСТ"				
Новосибирская область				
Биологическая продуктивность картофеля перед уборкой	24	10	28	
		20	56	
		30	68	
Влагозапасы почвы перед уборкой в слоях: 0-20 см	21	10	37	
		20	53	
		30	68	
	0-50 см	12	10	42
			20	79
			30	100
Красноярский край				
Биологическая продуктивность картофеля перед уборкой	16	10	40	
		20	56	
		30	84	
Влагозапасы почвы перед уборкой в слоях: 0-20 см	20	10	25	
		20	54	
		30	80	
	0-50 см	14	10	33
			20	79
			30	96
ВЕРСИЯ МОДЕЛИ "УРОЖАЙ"				
Новосибирская область				
Урожайность картофеля по всем категориям хозяйств	15	10	48	
		20	84	
		30	88	
Влагозапасы почвы перед уборкой в слоях: 0-20 см	23	10	42	
		20	54	
		30	71	
	0-50 см	13	10	54
			20	75
			30	92
Красноярский край				
Урожайность картофеля по всем категориям хозяйств	15	102030	488488	
Влагозапасы почвы перед уборкой в слоях: 0-20 см	15	10	27	
		20	65	
		30	96	
	0-50 см	12	10	31
			20	96
			30	100

Верификация моделей выполнена на материалах независимых наблюдений по Новосибирской области за 1996 - 2000гг., по Красноярскому краю - за 1997-2001гг. (Из-за сокращения наблюдений за элементами продуктивности картофеля по Новосибирской области верификация версии "Прирост" выполнена по двум из шести опорных станций за 1993 – 2000 гг.) (таблица 3).

Таблица 3

Согласование рассчитанных по независимым данным и фактических величин характеристик продуктивности картофеля

Год	Продуктивность, ц/га		Отклонение	
	факт.	рассч.	абс., ц/га	отн., %

ВЕРСИЯ МОДЕЛИ "ПРИРОСТ"

Новосибирская область

1993	322	420	-98	30
1994	324	266	58	18
1995	273	317	-44	16
1996	209	291	-82	39
1997	160	172	-12	8
1998	97	117	-20	20
1999	78	38	40	51
2000	166	223	-57	34

Красноярский край

1997	206	165	41	20
1998	166	184	-18	11
1999	194	169	25	13
2000	227	195	32	14
2001	227	194	33	14

ВЕРСИЯ МОДЕЛИ "УРОЖАЙ"

Новосибирская область

1996	128,5	141,6	-13,1	10,2
1997	165,1	107,9	57,2	34,6
1998	81,3	88,1	- 6,8	8,4
1999	77,0	53,9	23,1	30,0
2000	150,8	120,7	30,1	20,0

Красноярский край

1997	148,1	120,8	27,3	18,4
1998	118,3	105,3	13,0	11,0
1999	113,3	105,2	8,1	7,1
2000	117,2	123,6	-6,4	5,5
2001	117,4	130,1	-12,7	10,8

Как показано в таблице 3, более высокие оценки согласования модельных расчетов показателей продуктивности с фактически наблюдаемыми получены по обеим версиям модели для территории Красноярского края - величина относительной ошибки за все анализируемые годы находится в пределах равных и ниже 20%

фактических значений. Следует подчеркнуть, что в годы с наиболее значительными величинами относительной ошибки модельных расчетов по версии "Урожай" для Новосибирской области, фактические величины урожайности на уровне всех категорий хозяйств вышли за пределы статистического ряда, на котором модель обучалась: в 1997 году фактическая урожайность превысила максимум указанного статистического ряда, который равен 160 ц/га, а в 1999 году фактическая урожайность была ниже его минимума, равного 80 ц/га.

В целом результаты верификации динамической модели формирования урожая картофеля по двум предложенным версиям позволяют сделать вывод о возможности ее практического применения для агрометеорологических расчетов в реально заданных метеорологических условиях вегетационного периода по территории рассматриваемых субъектов Сибирского региона.

В ходе разработки метода и технологии расчета ожидаемой урожайности картофеля на уровне всех категорий хозяйств было отработано несколько вариантов использования полученных версий динамической модели для этих целей. В двух из них использовано свойство динамической модели продукционного процесса, позволяющее дать сравнительную оценку комплекса условий формирования урожая за предшествующий прогнозу отрезок текущего вегетационного периода с выбранными эталонными условиями за аналогичный период. В качестве эталонных условий можно использовать условия прошлого года, года-аналога, экстремальных лет и т.п. [9, 10].

В варианте №1 расчет сравнительных оценок, сложившихся на момент составления прогноза условий формирования урожая картофеля, с выбранными эталонными условиями за предшествующий период вегетации выполнялся с использованием версии модели "Прирост". Оценки, рассчитанные при помощи этой версии модели, универсальны. Они применимы для любой статистической категории урожайности и наиболее объективны для характеристики комплекса условий формирования урожая картофеля за отдельные отрезки времени в динамике вегетационного периода при определенном уровне культуры земледелия.

В варианте №2 такого подхода расчет оценок сложившихся условий формирования урожая выполнялся с использованием версии модели "Урожай". Эта версия модели опосредованно учитывает условия уборки культуры, исходя из того,

что средняя урожайность, на расчет которой настроена модель, является интегральным показателем как агрометеорологических, так и хозяйственных условий возделывания и в большой степени зависит от качества уборки.

Методика прогнозирования урожайности картофеля в рассмотренных вариантах строилась на предположении, что отношение ожидаемой урожайности в текущем году и фактической урожайности года-эталона близка отношению моделируемых величин урожайности на материалах этих лет. В данном случае это отношение величин урожайности, рассчитанных по фактическим данным текущего года от всходов до даты составления прогноза и урожайности, рассчитанной по фактическим данным года-эталона за аналогичный период. Сценарий ожидаемых условий до окончания вегетационного периода при этом строится по фактическим данным года-эталона. При отработке этого подхода использован расчет комплексной количественной оценки агрометеорологических условий формирования урожая картофеля, сложившихся на момент составления прогноза, при котором в качестве эталона выступали условия аналогичного периода прошлого года.

Оценка условий формирования урожая относительно прошлого года на качественном уровне, наряду со средними многолетними, является наиболее часто применяемой в практической агрометеорологии. Использование в качестве эталонных условий прошлого года удобно с точки зрения технологии подготовки данных и выполнения расчетов.

Мерой отличия оцениваемых условий текущей вегетации от прошлогодних будет отношение (η_n) конечных урожаев, рассчитанных по условиям текущего (Y_o) и прошлого года (Y_n), за оцениваемый период:

$$\eta_n = \frac{Y_o}{Y_n} \cdot 100\% . \quad (4)$$

Таким образом, чтобы дать количественную оценку агрометеорологических условий формирования урожая картофеля по состоянию на 31 июля текущего года относительно условий прошлого года необходимо рассчитать отношение [4], где:

Y_o - урожай, рассчитанный по фактическим данным текущего года от всходов до 31 июля, и данным прошлого года от 1 августа до конца вегетации;

Y_n - урожай, рассчитанный по данным прошлого года от всходов до конца вегетации.

Конец вегетационного периода определяется концом декады, на которую выпадает преобладающая на рассматриваемой территории средняя многолетняя дата наступления фазы увядания ботвы (или дата уборки, если первая не наблюдалась). Динамическая модель определяет конец вегетации временем накопления заданной суммы эффективных температур.

Ожидаемая урожайность клубней картофеля (Y_o) рассчитывается по формуле:

$$Y_o = 0,01 Y_n \eta_n, \quad (5)$$

где: Y_n - фактическая урожайность за прошлый год.

Для подтверждения правомерности такого подхода следует отметить, что теснота корреляционной зависимости отношений фактической урожайности двух смежных лет (последующего к предыдущему) и соответствующих отношений биологической продуктивности перед уборкой характеризуется коэффициентом корреляции, равным 0,692, при значимой величине на 5%-ном уровне равной 0,404. Теснота связи средней биологической продуктивности картофеля перед уборкой и средней урожайности за 25 лет характеризуется коэффициентом корреляции, равным 0,641 при значимом 0,396.

Модельные расчеты, выполненные после окончания работ по адаптации, показали, что коэффициент корреляции зависимости отношений фактической урожайности смежных лет и соответствующих отношений биологической продуктивности, рассчитанных по фактическим данным, равен 0,646 при значимом 0,396. Зависимость отношений фактической урожайности смежных лет и рассчитанной при помощи модели "Прирост" количественной оценкой условий формирования урожая картофеля, сложившихся к 1 августа (времени составления прогноза урожайности), за аналогичный период лет характеризуется коэффициентом корреляции, равным 0,586. Аналогичная зависимость с оценками, рассчитанными на модели "Урожай", имеет коэффициент корреляции 0,498 (значимый 0,396).

В последующих двух вариантах применения динамической модели продукционного процесса картофеля для целей прогнозирования урожайности (№3

и №4) использована версия модели "Урожай". В этих вариантах применена идея построения сценариев будущих метеорологических условий от даты составления прогноза до конца вегетации.

В варианте №3 массив используемых данных состоит из фактической информации за период, предшествующий составлению прогноза, и инерционного прогноза метеоэлементов за период от даты составления прогноза до конца вегетации в виде данных метеорологических наблюдений за аналогичный период прошлого года.

При выборе этого сценария руководствовались тем, что влияние на конечный результат условий последней трети вегетационного периода, на время которой в расчет включается метеорологические данные прошлого года, несравнимо менее существенны относительно предшествующей его части, в силу инерционности продукционных процессов. Ко времени составления прогноза растения картофеля обладают полностью сформированным фотосинтезирующим аппаратом, пройден критический по отношению к влаго- и теплотребности период, совпадающий с фазой образования соцветий. Известно, что уже на фазу образования соцветий картофеля формирование урожая почти в равной степени зависит от условий как в прошлом, так и в будущем [7]. Следует отметить и достаточно высокую оправдываемость инерционных прогнозов урожайности картофеля по всем категориям хозяйств, при которых совокупное воздействие на формирование урожая факторов внешней среды текущей вегетации фактически приравнивается их влиянию на этот процесс в предшествующем году.

При сравнении величин урожайности картофеля, рассчитанных с помощью модели "Урожай", по фактическим данным за весь период вегетации и по комбинированным данным (фактические от всходов до даты составления прогноза и данные прошлого года от даты составления прогноза до конца вегетации) за 25-летний период по Новосибирской области, в 22 годах (88% случаев) разность не превышала 10% от величины, рассчитанной по фактическим данным, в 23 годах (92% случаев) она была менее 20%, и только в двух годах превысила 20%. При расчетах по версии "Прирост" соответствующие показатели равны 72%, 88% и 88%.

Аналогичные расчеты по Красноярскому краю показали следующую обеспеченность отклонений менее заданных величин: по версии "Урожай" - 72%, 92% и 96%, по версии "Прирост" - 96%, 96% и 100%, соответственно.

Еще одним аргументом в пользу такого подхода является его высокая технологичность с точки зрения возможности автоматизации подготовки используемых данных. При этом затраты времени на подготовку данных и выполнение расчетов в два раза меньше по сравнению с ранее рассмотренными вариантами.

Вариант №4 методического подхода к прогнозированию урожайности картофеля с применением динамической модели продукционного процесса отличается от предыдущего сценарием ожидаемых метеорологических условий на период от даты составления прогноза до конца вегетационного периода. Массив исходных данных в этом варианте состоит из фактической информации за период от даты всходов до даты составления прогноза и информации по долгосрочному прогнозу погоды на август с пролонгацией на первую декаду сентября, в виде фактических данных утвержденного года-аналога.

При наличии специально подготовленного архива этот вариант прогноза урожайности картофеля, так же как и предыдущий, технологически прост в плане оперативной подготовки информации и выполнения расчетов.

Оценка обеспеченности расчетов с ошибкой менее определенных величин за многолетний период по этому варианту не проводилась из-за недостаточного объема информации по утвержденным годам-аналогам. Диагностическая оценка по независимым данным последних пяти лет представлена ниже.

Сравнением оправдываемости методических прогнозов №1 - №3, рассчитанных по зависимому ряду, с инерционными и климатологическими выделены наиболее успешные из них, способные конкурировать с последними. Так, средняя ошибка инерционных прогнозов по Новосибирской области составляет 15%, климатологических - 14%, а обеспеченность ошибки, не превышающей 20%, соответственно 76% и 80%. Расчеты по методическому прогнозу №3 на зависимых данных оказались по средней ошибке сравнимыми с климатическими, а по обеспеченности ошибки, не превышающей 20%, успешнее всех рассмотренных - 84%.

По Красноярскому краю также лучший результат по зависимым данным показал методический прогноз №3 при средней относительной ошибке, равной 13% (инерционного - 30%, климатологического - 19%). Обеспеченность ошибки, не превышающей 20%, по методическому прогнозу №3 составляет 89%, по инерционному - 56%, по климатологическому - 67%.

Авторская оценка успешности методов прогноза урожайности картофеля на независимых данных за 1996-2000 гг. по Новосибирской области и за 1997-2001 гг. по Красноярскому краю проводилась согласно [1,2]. Сравнительная оценка испытываемых методов с инерционным и климатологическим представлена в таблице 4.

Следует отметить, что за период лет авторской оценки методов по Новосибирской области, начиная с 1997 года, наблюдалось значительное увеличение межгодовых амплитуд средней урожайности картофеля и, как отмечалось ранее, фактические величины урожайности на уровне всех категорий хозяйств в 1997 и 1999 годах вышли за пределы статистического ряда, использованного для адаптации модели.

Согласно таблице 4, из всех оцениваемых методов по Новосибирской области более успешными оказались расчеты, выполненные по методическому прогнозу №3. Абсолютные отклонения рассчитанных и фактических величин при использовании этого метода прогноза превысили допустимую величину только в годы с экстремальными величинами урожайности за последние 30 лет.

В 1997 году наблюдались всего лишь удовлетворительные условия формирования урожая, а в отдельные периоды в ряде районов даже напряженные: поздние заморозки, недобор осадков в течение всего вегетационного периода, жаркая (на 6-8 градусов выше оптимальной) сухая погода во время цветения, заморозки в конце июля на западе области. Расчеты по методическому прогнозу №3 показали снижение урожайности относительно предыдущего более благоприятного года. Однако условия уборки урожая картофеля в 1997 году сложились исключительно благоприятными, в результате чего был собран рекордный за последние 30 лет урожай.

Таблица 4

Сравнительная оценка прогнозов урожайности картофеля

Год	Новосибирская область					Красноярский край				
	факт. урож. ц/га	прогн урож. ц/га	абс. ош., ц/га	отн. ош., %	опр., %	факт. урож. ц/га	прогн урож. ц/га	абс. ош., ц/га	отн. ош., %	опр., %
Методический прогноз № 1										
1996	128	171	-43-	34	66	-	-	-	-	-
1997	165	90	75	45	55	148	111	37-	25	75
1998	81	105	-24-	30	70	118	57	-39-	33	67
1999	77	44	33-	43	57	113	113	0+	0	100
2000	151	193	-42-	28	72	117	129	-12+	10	90
2001	-	-	-	-	-	117	106	11+	9	91
Методический прогноз № 2										
1996	128	139	-11+	8	92	-	-	-	-	-
1997	165	10	55-	33	67	148	106	42-	28	72
1998	81	124	-42-	52	48	118	157	-38-	33	67
1999	77	50	-27-	35	65	113	115	-2+	2	98
2000	151	153	-2+	1	99	117	115	2+	2	98
2001	-	-	-	-	-	117	124	-6+	5	95
Методический прогноз № 3										
1996	128	140	-12+	9	91	-	-	-	-	-
1997	165	121	44-	27	73	148	114	41-	28	72
1998	81	81	0+	0	100	118	109	9+	8	92
1999	77	44	33-	43	57	113	98	15+	13	87
2000	151	35	16+	10	90	117	123	-6+	5	95
2001	-	-	-	-	-	117	140	-23-	20	80
Методический прогноз № 4										
1996	128	138	-10+	8	92	-	-	-	-	-
1997	165	128	37-	22	78	148	114	34-	23	77
1998	81	94	-13+	16	84	118	119	-1+	1	99
1999	77	49	28-	36	64	113	98	15+	13	67
2000	151	115	36-	24	76	117	129	-12+	10	90
2001	-	-	-	-	-	117	131	-14+	11	89
Инерционный прогноз										
1996	128	135	-7+	5	95	-	-	-	-	-
1997	165	128	37-	22	78	148	120	28-	19	81
1998	81	165	-84-	104	0	118	148	-30-	25	75
1999	77	81	-4+	5	95	113	118	-5+	4	96
2000	151	77	-74-	49	51	117	113	4+	3	97
2001	-	-	-	-	-	117	117	0+	0	100
Климатологический прогноз										
1996	128	126	2+	2	98	-	-	-	-	-
1997	165	129	36-	22	78	148	110	38-	26	74
1998	81	134	-53-	65	35	118	131	-13+	11	89
1999	77	126	-49-	63	67	113	130	-17-	13	87
2000	151	117	34-	22	78	117	125	-8+	7	93
2001	-	-	-	-	-	117	123	-6+	5	95

В 1999 году из-за большого дефицита влаги в почве, повышенного температурного режима воздуха и почвы агрометеорологические условия клубнеобразования и формирования урожая картофеля на большей части территории области были неблагоприятные. Методический прогноз урожайности ориентировал на еще более низкий урожай картофеля, чем в предыдущем неблагоприятном году. Фактически снижение урожайности наблюдалось, но менее существенное.

Оправдываемость метода согласно [2] составила 60%, а средняя оправдываемость прогнозов по методу №3, рассчитанная в соответствии с [1], составила 82%. Заслуживают внимания также результаты прогнозирования по методическому прогнозу №4, ориентированного на использование долгосрочного прогноза погоды (табл.4).

По Красноярскому краю из всех оцениваемых методов, более успешными оказались расчеты, выполненные по методическому прогнозу №4. Абсолютное отклонение рассчитанной и фактической величин урожайности при использовании этого метода прогноза превысили допустимую величину только в 1997 году. Согласно таблице 4, по расчетам за этот год не оправдался ни один из испытываемых методов, включая инерционный и климатологический: при идентичных знаках абсолютного отклонения фактическая величина во всех случаях превысила расчетные.

Следует отметить, что за период авторской проверки методов в 1997 году наблюдались наиболее благоприятные условия уборки картофеля и получен наибольший за последние 15 лет урожай клубней. Оправдываемость методического прогноза №4, рассчитанная в соответствии с [2], самая высокая и составила 80%. Средняя за 5 лет оправдываемость прогнозов по методу №4, рассчитанная в соответствии с [1], составила 88%. Этот показатель, полученный по инерционному прогнозу, на 1% выше, но при этом инерционный метод обладает большей амплитудой колебания оправдываемости и более низкой ее минимальной величиной.

По результатам оперативного испытания методического прогноза №3 по Новосибирской области за период 1996-2002гг. оправдываемость методических прогнозов составила 80%, что выше инерционных, климатологических и

оперативных прогнозов на 6-12%. Сравнительная оценка этих методов показала преимущество методического прогноза относительно инерционного и оперативного на 14%, а относительно климатологического на 28%. С августа 2003 года метод работает в оперативном режиме.

Оперативные испытания методического прогноза №4 по Красноярскому краю завершены успешно. Метод принят в оперативную практику в качестве вспомогательного. К сожалению, на момент окончания испытаний не было возможным автоматизировать процесс выборки информации и выполнения расчетов.

Представленные методы прогнозов реализованы на персональном компьютере. Приведенные результаты первого опыта применения динамической модели формирования урожая картофеля с суточным разрешением для целей прогноза средней урожайности по субъектам Сибирского региона показали гибкость и многогранность динамических моделей такого класса, как средства расчетов, и перспективность новой методологии прогнозирования. Развитие данного направления в прогнозировании урожайности сельскохозяйственных культур предполагает, как совершенствование соответствующих прикладных моделей, так и расширение информационного обеспечения, что в свою очередь требует современного вычислительного оснащения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Инструкции по оценке оправдываемости агрометеорологических прогнозов. М.:Гидрометеиздат,1983. 6с.
2. Методические указания по проведению производственных (оперативных) испытаний новых и усовершенствованных методов гидрометеорологических и гелиогеофизических прогнозов. РД 52.27.284-91. М.:Гидрометеиздат,1991. С.98-107.
3. Набока В.В. Идентификация параметров модели "Погода-Урожай" для культуры картофеля в условиях Западной Сибири // Труды ЗапСибНИГМИ. 1983. Вып.58. С.44-54.

4. Набока В.В. Метод агрометеорологического прогноза урожайности и валового сбора картофеля на уровне колхозов и совхозов для областей Западной Сибири // Труды ЗапСибНИГМИ. 1987. Вып.78. С.57-65.
5. Набока В.В. Применение динамической модели формирования урожая картофеля для агрометеорологических расчетов // Труды ЗапСибНИГМИ. 1989. Вып.86. С.89-97.
6. Набока В.В. О применении динамической модели для прогнозирования агрометеорологических условий формирования урожая картофеля по территории Урала на основе прогноза погоды // Труды СибНИГМИ. 2000. Вып.102. С.106-118.
7. Полевой А.Н. Теория и расчет продуктивности сельскохозяйственных культур. Л.:Гидрометеиздат,1983. 175с.
8. Сепп Ю.В.,Тооминг Х.Г. Динамическая модель продукционного процесса картофеля и ее применение для решения некоторых агрометеорологических задач. М.:Гидрометеиздат,1987. 44с.
9. Сиротенко О.Д. Математическое моделирование водно-теплового режима и продуктивности агроэкосистем. Л.:Гидрометеиздат,1981. 167с.
10. Сиротенко О.Д., Абашина Е.В. Об использовании динамических моделей для оценки агрометеорологических условий формирования урожаев // Метеорология и гидрология. 1982. №8. С.95-101.
11. Сиротенко О.Д., Павлова В.Н. Об использовании динамических моделей для оценки влияния возможных изменений и колебаний климата на урожайность сельскохозяйственных культур // Труды ВНИИСХМ. 1985. Вып.10. С.81-90.

ДИНАМИКА УРОЖАЙНОСТИ ЯРОВОЙ ПШЕНИЦЫ НА ТЕРРИТОРИИ ЮГО-ВОСТОКА ЗАПАДНОЙ СИБИРИ ВО ВТОРОЙ ПОЛОВИНЕ XX ВЕКА

Информация о многолетней динамике урожайности сельскохозяйственных культур на конкретных территориях представляет значительный интерес для оценки степени продовольственной безопасности государства и принятия соответствующих экономических решений.

На величину урожая влияет множество природных и антропогенных факторов, выявление которых служит предметом специальных исследований, проводимых, в частности, при разработке прогностических моделей [1]. Цель настоящей работы состояла в получении и обсуждении разнообразных статистических характеристик многолетней динамики урожайности яровой пшеницы по территории юго-востока Западной Сибири, где она является одной из ведущих продовольственных культур. При анализе были использованы данные за 1951-2000 г.

В таблице 1 приведены следующие статистические характеристики урожайности: средняя урожайность (в ц/га в бункерном весе) Y , среднеквадратическое отклонение σ_y , коэффициент вариации $\delta = \sigma_y/Y$, максимальное значение Y_{max} , минимальное значение Y_{min} .

Таблица 1

Статистические характеристики динамики урожайности яровой пшеницы по областям (краю) юго-востока Западной Сибири за 1951-2000 гг.

Характеристика	Томская область	Новосибирская область	Кемеровская область	Алтайский край
Y	13,1	10,8	12,9	10,4
σ_y	3,8	3,6	3,8	3,6
$\delta, \%$	29	33	30	35
Y_{max} (год)	21,2 (1995)	17,4 (1980)	21,9 (1978)	20,0 (1972)
Y_{min} (год)	5,9 (1952)	3,0 (1963)	5,7 (1963)	3,0 (1951)

Средняя урожайность меняется по территории от 10.4 ц/га в Алтайском крае до 13,1 ц/га в Томской области. Видно, что урожайность по годам колеблется

существенно. Так, коэффициент вариации достигает 35% в Алтайском крае, а наименьшее его значение равно 29% в Томской области. Велика разница между максимальной и минимальной урожайностью (от 15,3 ц/га до 17 ц/га). Обусловлено это значительной изменчивостью погодных, агрометеорологических условий континентального климата региона.

Природные и агроклиматические ресурсы исследуемой территории потенциально благоприятны для возделывания яровой пшеницы. Реализовать эти возможности позволяет культура земледелия, с ее улучшением, как правило, растут урожаи. В таблице 2 отражена динамика средней урожайности по десятилетиям. Заметна тенденция в целом роста урожайности, однако в Алтайском крае в последнее десятилетие средняя урожайность упала до величины первого десятилетия.

Таблица 2

Значения средней урожайности яровой пшеницы по десятилетиям

Десятилетие	Томская область	Новосибирская область	Кемеровская область	Алтайский край
1951-1960	10,1	8,4	10,6	9,4
1961-1970	12,4	7,8	11,2	8,7
1971-1980	12,9	12,5	12,4	12,3
1981-1990	14,8	12,8	15,5	12,0
1991-2000	15,3	12,6	14,8	9,5

Влияние культуры земледелия принято описывать с помощью уравнения линейного тренда, характеризующего многолетнюю тенденцию изменчивости урожайности

$$Y = a + b \cdot n,$$

где a , b коэффициенты уравнения, n – номер года; b выражает ежегодное изменение урожайности: если оно положительно, то урожайность растет, если отрицательно, то падает. Относительно тренда фактическая урожайность может испытывать значительные колебания от минимальных до максимальных текущих значений.

Расчеты показывают [2], что реально возможная урожайность, зависящая в основном от тепловлагообеспеченности, почти в три раза превышает хозяйственную (т.е. получаемую фактически). Повышение культуры земледелия позволит приблизить хозяйственную урожайность к реально возможной. Как скоро

это будет достигнуто, можно приближенно оценить по уравнениям трендов экстремальных значений урожайности (текущих максимальных $Y_{тр\max}$ и минимальных $Y_{тр\min}$), а также по линейному тренду ($Y_{лтр}$). Эти уравнения, полученные нами с помощью аппроксимаций по методу наименьших квадратов, приведены в таблице 3.

Таблица 3

**Уравнения различных трендов урожайности яровой пшеницы: линейный $Y_{лтр}$, максимальной ($Y_{тр\max}$) и минимальной ($Y_{тр\min}$) урожайности;
 n – номер года, начиная с 1951 г.**

Область (край)	Уравнения		
	$Y_{лтр}$	$Y_{тр\max}$	$Y_{тр\min}$
Томская	$9,9+0,126 \cdot n$	$37,1-25,4 \cdot e^{-0,014 \cdot n}$	$5,4+0,124 \cdot n$
Новосибирская	$6,5+0,160 \cdot n$	$30,8-19,8 \cdot e^{-0,035 \cdot n}$	$3,4+0,17 \cdot n$
Кемеровская	$9,4+0,158 \cdot n$	$36,8-26,6 \cdot e^{-0,016 \cdot n}$	$3,1+0,182 \cdot n$
Алтайский край	$9,8+0,071 \cdot n$	$29,7-17,1 \cdot e^{-0,0017 \cdot n}$	$2,7+0,070 \cdot n$

Видно, что урожайность по тренду культуры земледелия растет заметно в Новосибирской и Кемеровской областях. Здесь ежегодная прибавка урожайности составляет примерно 16 кг/га. В Алтайском крае прибавка наименьшая – около 7 кг/га. Оценки, проведенные на основе уравнений таблицы 3, также показывают, что при текущем состоянии культуры земледелия фактическая урожайность достигнет реально возможной (своей для каждой области и края) не раньше, чем примерно через 100 лет.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Костюков В.В., Костюкова Н.И., Черникова М.И. Комплексный способ прогноза урожайности яровой пшеницы по территории Западной Сибири // Труды СибНИГМИ. 2002. Вып.104. С.31-39.
2. Черникова М.И. Оценка реально возможных агроклиматических ресурсов Западной Сибири для программирования урожайности ранних яровых зерновых культур (яровая пшеница, овес, ячмень) // Труды ЗапСибНИГМИ. 1985. Вып.71. С.33-46.

**ВЛИЯНИЕ ЗАСУХ И СУХОВЕЕВ НА ПРОДУКТИВНОСТЬ ЯРОВОЙ
ПШЕНИЦЫ В ЮГО-ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ
(ТОМСКАЯ, НОВОСИБИРСКАЯ, КЕМЕРОВСКАЯ ОБЛАСТИ,
АЛТАЙСКИЙ КРАЙ)**

Сельскохозяйственная засуха характеризуется недостатком воды, который пагубно отражается на ведении различных отраслей аграрного сектора экономики. Создаются неблагоприятные условия для роста, развития и продуктивности растений. Из [1] известен биологический критерий засухи - снижение урожая на 20-25% от среднего для степной и лесостепной зон; показатели интенсивности ее сформулированы в [3]. Так, потери урожая до 20% - незначительная засуха, от 20 до 50% - засуха средней силы и свыше 50% - сильная засуха.

Наибольшие потери урожая яровой пшеницы на юго-востоке Западной Сибири наблюдаются в годы с сильными засухами и суховеями. Однако уровень снижения урожайности при различных типах засух и суховеев не изучен. Поэтому исследование засух и суховеев, ущерба, наносимого ими аграрному сектору, в настоящее время приобретает особо важное значение.

Засухи и суховеи всех типов (очень сильные, сильные и умеренные) имеют место на территории юго-востока Западной Сибири, в степных районах Алтайского края, Новосибирской и Кемеровской областей, являясь одним из наиболее опасных для сельского хозяйства метеорологических явлений [5].

Издержки от засухи оцениваются потерями, которые несет производство, они представляют величину недовложения в экономику из-за того, что потраченное время, деньги и труд не принесли ожидаемых результатов. Стоимость ущерба от засухи можно представить в виде прямых денежных издержек, которые несет государство, перекладывая это бремя на остальное, менее пострадавшее население, главным образом, в виде продовольственной помощи.

В наших исследованиях оценка влияния засух на потери величины урожая яровой пшеницы на юго-востоке Западной Сибири производилась на материалах Томского, Новосибирского, Кемеровского и Алтайского Государственных

Комитетов Российской Федерации по статистике и Российского Государственного фонда данных о состоянии окружающей природной среды ГУ Новосибирского ЦГМС-РСМЦ с 1956 по 2000 гг. В связи с переходом Государственных Комитетов Российской Федерации по статистике с 1991 г. на учет урожайности яровой пшеницы с бункерного веса зерна на амбарный вес зерна, т.е. после доработки его, информационно-аналитическая база данных по амбарной урожайности яровой пшеницы с 1956 по 1990 гг. создана нами на расчетных данных, материалы ее использованы при подготовке настоящей статьи.

Яровая пшеница на юго-востоке Западной Сибири является важнейшей продовольственной культурой и занимает в балансе посевных площадей более 60% (около 5 млн. га). Природные условия и термические ресурсы юго-востока Западной Сибири потенциально благоприятны для возделывания мягких и ценных сортов яровой пшеницы в лесостепной зоне и твердых – в степной.

По условиям увлажнения большая часть посевных площадей яровой пшеницы в Новосибирской, Кемеровской областях и в Алтайском крае расположены в зонах неустойчивого увлажнения (лесостепь, степь). Вследствие часто повторяющихся засушливых явлений здесь урожайность зерна яровой пшеницы сильно колеблется по годам из-за недостаточной влагообеспеченности посевов этой культуры. Анализ средней областной (краевой) и по административным районам урожайности яровой пшеницы за период с 1956 по 2000 гг. показывает, что колебание урожайности обусловлено в основном погодными условиями конкретного года.

Возникновение и развитие засушливых явлений здесь обусловлено не только прогреванием воздушных масс на месте, но и поступлением теплого континентального воздуха из Средней и Центральной Азии. При таких циркуляционных процессах создается комплекс неблагоприятных явлений, к которым относится сухость воздуха, обычно сопровождаемая высокими температурами и ветром [2].

Наибольший ущерб сельскому хозяйству наносят очень сильные и сильные засухи. Часто засухи сочетаются с суховейными явлениями, усиливая пагубное влияние засушливых явлений на урожай. Наибольшее число дней с суховеями здесь наблюдается в мае, июне. Количество осадков в эти месяцы наименьшее, в то

время как в конце мая, начале июня идет закладка колоса и формируется будущий урожай яровой пшеницы.

Наиболее сильные и продолжительные засухи на юго-востоке Западной Сибири были в 1963, 1965 и 1969 гг.

В таблице 1 приводится урожайность яровой пшеницы в амбарном весе по областям (краю) юго-востока Западной Сибири в эти годы и средняя многолетняя – за 1956-2000 гг.; в таблице 2 – потери урожайности от действия засух в ц/га и процентах от средней многолетней урожайности.

Таблица 1

Средняя областная (краевая) урожайность яровой пшеницы в амбарном весе в годы сильных засух (1963, 1965, 1969 гг.) и средняя многолетняя за 1956-2000 гг. по Томской, Новосибирской, Кемеровской областям и Алтайскому краю

Область (край)	Урожайность в амбарном весе, ц/га в годы:			
	1963	1965	1969	1956-2000
Томская	5,9	7,4	7,1	12,0
Новосибирская	2,7	3,6	5,7	10,3
Кемеровская	5,4	7,3	5,1	12,1
Алтайский	2,8	4,9	8,4	9,9

Как видно из таблицы 2, в засушливые годы на юго-востоке Западной Сибири теряется до 74% среднего областного урожая. Проведенные исследования потерь урожая от засух по административным районам свидетельствуют о том, что в степной зоне Новосибирской, Кемеровской областей и Алтайского края в отдельные годы теряется от засухи до 99% урожая от среднего многолетнего, то есть не обеспечивается даже сбор высеваемых семян. Издержки в виде потерь зерна от засухи сельскохозяйственным производством можно представить в виде прямых денежных затрат, которые несет область или административный район. Так, стоимость одной тонны зерна яровой пшеницы на торговой площадке в Новосибирске на 27.10.2004 г. с разделением на классы составляла: II класс – 4100 руб., III класс – 4000 руб., IV класс – 3000 руб. Зерно с клейковиной 28% и выше – 5000 руб. В денежном выражении ущерб от сильной засухи в аграрном секторе экономики при указанных выше ценах может ориентировочно достигать 3,0-3,5 тысяч руб. на гектар.

Таблица 2

Потери средней областной (краевой) урожайности яровой пшеницы от засух в амбарном весе в ц/га и процентах от средней многолетней урожайности за 1956-2000 гг. по Томской, Новосибирской, Кемеровской областям и Алтайскому краю

Область (край)	Потери урожайности, ц/га и %					
	в ц/га			в %		
	1963	1965	1969	1963	1965	1969
Томская	6,1	4,6	4,9	52	38	41
Новосибирская	7,6	6,7	4,6	74	65	45
Кемеровская	6,7	4,8	7,0	55	40	58
Алтайский край	7,1	5,0	1,5	72	50	15

Однако засуху, как негативное природное явление, можно рассматривать лишь при возделывании яровой пшеницы на богаре. Напротив, при определенных капитальных вложениях в сельскохозяйственное производство на орошение, удобрения, обеспечение прогрессивных технологий, подбор сортов, в засушливые годы здесь при программном возделывании яровой пшеницы можно получать до 50-100 центнеров зерна с одного гектара за счет повышенных приходов энергии фотосинтетически активной солнечной радиации (ФАР) и более полного использования ее на формирование урожая, а также лучшей теплообеспеченности растений [6].

В наиболее благоприятные годы для формирования высокой урожайности (1978, 1979, 1985 и 1986 гг.) в лесостепной части Западной Сибири на богаре были получены урожаи зерна мягкой яровой пшеницы сорта «Новосибирская 67» - 58 ц/га (Новосибирская область) и сортов «Катунь», «Мотесценс» - 60 ц/га (Алтайский край)[4].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Методические указания по составлению научно-прикладного справочника по агроклиматическим ресурсам СССР (серия 2, ч.1 и 2)/ Отв.ред. В.А.Жуков. Л.: Гидрометеиздат, 1986. 149 с.
2. Петрова М.Г. Синоптические условия декад весенних месяцев с резким дефицитом осадков на территории крайнего юго-востока Западной Сибири//Сборник работ Новосибирской гидрометеорологической обсерватории. М.:Гидрометеиздат, 1966. С.45-62.
3. Стихийные бедствия: изучение и методы борьбы/ Отв.ред. С.Б.Лавров, Л.Г.Никифоров. М.: Прогресс, 1978. 440 с.

4. Сотник А.Я. Каталог коллекционных образцов яровой мягкой пшеницы (Результаты изучения в условиях лесостепи Западной Сибири). Новосибирск: Сибирское отд. РАСХН, 1999. 60 с.
5. Тихонова Э.Л., Черникова М.И., Янова Е.И. Засухи и суховеи на юго-востоке Западной Сибири и их влияние на формирование урожая яровой пшеницы // Труды ЗСРНИГМИ. 1975. Вып.19. С.10-16.
6. Черникова М.И. Оценка потенциальных агроклиматических ресурсов Западной Сибири для программирования урожаев ранних яровых зерновых культур (яровая пшеница, овес, ячмень) // Труды ЗапСибРНИГМИ. 1985. Вып.71. С.22-33.

СОДЕРЖАНИЕ

Еремин В.В., Еремина М.М. Об использовании автоматизированной оперативной технологии краткосрочного прогноза погоды.....	3
Еремин В.В., Еремина М.М., Виноградова Л.И. Опыт эксплуатации физико-статистической модели долгосрочного прогноза погоды.	10
Еремин В.В., Мясников В.М.. О применении альтернативной модели краткосрочного прогноза осадков.	19
Завалишин Н.Н. О возможной причине современного потепления.....	29
Здерева М.Я., Торубарова Г.П., Шустова Г.А. Физико-статистическая схема прогноза экстремальной температуры воздуха по пунктам Новосибирской области на 1-5 суток.	40
Романов Л.Н., Бочкарева Е.Г. О восстановлении пропусков в метеорологических полях.....	47
Токарев В.Г. Метод прогноза количества осадков по полусуткам пентады в тёплое полугодие для Якутии.....	60
Лучицкая И.О., Белая Н.И., Филоненко Н.Н. Оптимизация методов контроля качества климатических рядов высоты снежного покрова.....	68
Бураков Д.А., Авдеева Ю.В., Космакова В.Ф. Наводнения в бассейнах рек Сибири.....	83
Тасейко О.В., Михайлюта С.В., Захаров Ю.В., Суховольский В.Г., Леженин А.А. Расчет ветровых характеристик в приземном слое атмосферы на неоднородной урбанизированной территории.....	103
Шлычков В.А. Расчет циркуляции воздуха в городских агломерациях с явным учетом элементов ландшафта.....	113
Барахтин В.Н. Семипалатинский ядерный полигон: как погасить эхо взрывов?	121

Рапута В.Ф. Реконструкция полей длительного техногенного загрязнения местности.....	129
Селегей Т.С., Быков А.П., Суслина Т.А., Ленковская Т.Н. Карты фонового загрязнения атмосферного воздуха некоторых городов Западной Сибири.....	140
Селегей Т.С., Филоненко Н.Н., Ленковская Т.Н. Содержание приземного озона в атмосферном воздухе г.Новосибирска.....	149
Кравцов Ю.В. Гидрологическое состояние черноземов южных тяжелого гранулометрического состава.....	158
Набока В.В. О применении динамической модели формирования урожая картофеля с суточным разрешением для прогнозирования урожайности в условиях Сибири.....	165
<u>Костюков В.В.</u> , Старостина Т.В. Динамика урожайности яровой пшеницы на территории юго-востока Западной Сибири во второй половине XX века.....	185
<u>Черникова М.И.</u> Влияние засух и суховеев на продуктивность яровой пшеницы в юго-восточной части Западной Сибири (Томская, Новосибирская, Кемеровская области, Алтайский край).....	188

УДК 551.509.313.4

Об использовании автоматизированной оперативной технологии краткосрочного прогноза погоды. Еремин В.В., Еремина М.М. Труды СибНИГМИ. 2006. Вып.105. с.3-9.

Представлена оперативная автоматизированная технология, реализующая модель краткосрочного прогноза погоды по территории ответственности Среднесибирского УГМС. Модель прогноза основана на применении многомерного статистического аппарата, включающего альтернативные и регрессионные методы решения прогностических задач, позволяющие как классифицировать синоптические ситуации, так и строить прогностические зависимости. Технологический комплекс встроен в ГИСМЕТЕО, что дает возможность в оперативном режиме получать и анализировать весь объем текущей синоптической и аэрологической информации, необходимой для расчетов.

Библ.5.

УДК 551.509.313.4

Опыт эксплуатации физико-статистической модели долгосрочного прогноза погоды. Еремин В.В., Еремина М.М., Виноградова Л.И. Труды СибНИГМИ. 2006. Вып.105. С.10-18.

Физико-статистическая модель и технология прогноза на сезон полей температуры и количества осадков с декадной и месячной детализацией по территории Красноярского края, Эвенкии, Хакасии и Тувы находится в оперативном использовании более 10 лет.

Методическая основа модели - поиск причинно-следственных связей в системе "атмосфера - океан – деятельный слой суши" с помощью комплекса алгоритмов многомерной статистики, который совершенствуется в процессе эксплуатации. Технология прогноза также модернизируется. Автоматизирована обработка и усвоение исходных оперативных данных, что позволило существенно сократить время подготовки информации для расчетов. Автоматизирован процесс оценки прогнозов. Проведено сравнение оправдываемости модельных прогнозов и месячных прогнозов ГМЦ Иркутского ЦГМС-Р по территории ответственности Среднесибирского УГМС. Средние оценки качества прогнозов за период эксплуатации модели позволяют говорить о ее реальной практической ценности.

Табл.3. Библ.9.

УДК 551.509.324.2

О применении альтернативной модели краткосрочного прогноза осадков.

Еремин В.В., Мясников В.М. Труды СибНИГМИ. 2006. Вып. 105. С. 19-28.

Рассмотрена альтернативная модель краткосрочного прогноза полусуточных осадков по пунктам территории ответственности Среднесибирского УГМС, основанная на построении разделяющей гиперплоскости. В ходе авторских испытаний проведено сравнение методов отбора предикторов для определения коэффициентов гиперплоскости: просеивания и включения. Показано преимущество метода включения. Коэффициенты гиперплоскости вычисляются с использованием метода псевдообращения.

Приведены результаты авторских и оперативных испытаний модели. Оперативные испытания проводились в апреле-сентябре 2004г. в отделе метеопрогнозов Красноярского ЦГМС-Р. В сравнении с моделью, ранее внедренной в оперативную практику, основанной на определении условной вероятности выпадения осадков, рассматриваемая модель показала лучшую предусмотренность осадков для территорий, где осадки наблюдаются редко. Основываясь на результатах испытаний, рекомендовано использовать модельные расчеты в оперативной практике при прогнозе осадков на 24-36 час. по пунктам южной части территории.

Табл.2. Библ.7.

УДК 551.590.2+551.509.3

О возможной причине современного потепления. Завалишин Н.Н. Труды СибНИГМИ. 2006. Вып. 105. С.29-39.

На основании спутниковых измерений интегрального потока солнечной радиации показывается завышение величины дисимметрии Солнца, как минимум, в 4 раза. Устанавливается существование значительной статистической связи между температурой приземной атмосферы и расчетным смещением Солнца от центра инерции Солнечной системы. Делается вывод о том, что редкая (179-летняя) конфигурация планет, сложившаяся в 80-х годах XX века, является возможной первопричиной, вызвавшей современное потепление. Дается перспективная оценка изменений температуры приземной атмосферы по югу Западной Сибири до 2050 года.

Ил. 4. Библ. 10.

УДК 551.509.323

Физико-статистическая схема прогноза экстремальной температуры воздуха по пунктам Новосибирской области на 1-5 суток. Здерева М.Я., Торубарова Г.П., Шустова Г.А.. Труды СибНИГМИ. 2006. Вып. 105. С.40-46.

Уменьшение шага по пространству в моделях атмосферы дает новую возможность для детализации прогнозов элементов погоды в статистических схемах, основанных на интерпретации гидродинамической продукции. В СибНИГМИ разработан метод среднесрочного прогноза экстремальной температуры воздуха по 30 пунктам Новосибирской области.

Информационной базой для нового метода служит циклически заполняющийся пятилетний архив данных объективного анализа полей приземного давления, геопотенциала на АТ-500 и температуры воздуха на АТ-850 за 00 и 12 ч, и синхронные этим полям значения минимальной и максимальной температур воздуха, наблюдаемых фактически. Обучающая выборка гибко формируется с учетом сезонного фактора и фактора аналогичности барических и температурных полей. Отбор значимых предикторов адаптирован к ожидаемым изменениям в синоптической ситуации. Прогностические расчетные уравнения строятся для каждой станции области, при этом значения модельных параметров берутся в репрезентативных узлах. Проведены авторские и оперативные испытания новой схемы. Сравнение с другими методами показало необходимость повышения качества прогноза максимальной температуры.

Библ. 3.

УДК 551.509.318

О восстановлении пропусков в метеорологических полях. Романов Л.Н., Бочкарева Е.Г. Труды СибНИГМИ. 2006. Вып. 105. С.47-59.

В работе представлены алгоритмы восстановления пропусков в данных наблюдений, основанные на минимизации среднего риска. Рассмотрены возможности восстановления метеорологических элементов как в архивных данных, так и в данных, поступающих оперативно. Приведены результаты восстановления полей давления, температуры и температуры точки росы по данным снятым с метеорологических станций Западно-Сибирского региона.

Результаты восстановления пропусков на большом статистическом материале сравниваются с инерционным восстановлением, а также с восстановлением по средним климатическим значениям.

Табл. 4. Рисунок 1. Библ. 3.

УДК 551.509.324.2

Метод прогноза количества осадков по полусуткам пентады в тёплое полугодие для Якутии. Токарев В.Г. Труды СибНИГМИ. 2006. Вып.105. С.60-67.

Для территории западных и центральных районов республики Саха создан автоматизированный метод прогноза количества осадков по полусуткам пентады в тёплый период года. Метод базируется на синоптико-статистической интерпретации гидродинамических прогнозов ЕЦССП на 24 - 144 часа. Разработана автоматизированная технология расчёта прогнозов на персональном компьютере с использованием ГИС "Метео". Прогноз осадков выдаётся как в табличном виде, так и на бланке карты по районам республики.

Приводятся результаты авторских испытаний метода, показавших его преимущество перед ранее разработанным методом, особенно при прогнозе сильных осадков.

Табл. 1. Илл.2. Библ. 6.

УДК 551.578.46

Оптимизация методов контроля качества климатических рядов высоты снежного покрова. Лучицкая И.О., Белая Н.И., Филоненко Н.Н. Труды СибНИГМИ. 2006. Вып.105. С.68-82.

По данным выборочной сети станций на территории Сибирского федерального округа апробирован ряд методов контроля многолетних рядов высоты снежного покрова. Проведена оценка их эффективности, исходя из соотношения количества сомнительных и ложных значений. Установлено, что из общей совокупности ошибок каждый метод обнаруживает лишь часть из них. Предложен вариант оптимальной комплексации методов, позволяющей выявить ошибки при минимальном объеме проверяемых данных.

Табл. 4. Библ.12.

УДК 556.166

Наводнения в бассейнах рек Сибири. Бураков Д.А., Авдеева Ю.В., Космакова В.Ф. Труды СибНИГМИ. 2006. Вып.105. С.83-102.

Рассматриваются причины, вызывающие наводнения в бассейнах крупнейших рек России – Оби (с Иртышом), Енисея (с Ангарой) и Лены. Характеризуются территориальные наводнения, одновременно охватывающие более 50-60% исследуемой территории, и локальные, которые наблюдаются на отдельных участках рек на

ограниченной территории. По обеспеченности максимальных уровней воды выделяются катастрофические, выдающиеся и высокие наводнения (менее 1%, 1-10 % и 10-25 %). Рассматриваются примеры территориальных и локальных наводнений, факторы и закономерности пространственной корреляции максимальных уровней воды, применяемые на практике методы прогноза.

Ил.1. Табл.5. Библ.12.

УДК 551.559

Расчет ветровых характеристик в приземном слое атмосферы на неоднородной урбанизированной территории. Тасейко О.В., Михайлюта С.В., Захаров Ю.В., Суховольский В.Г., Леженин А.А. Труды СибНИГМИ. 2006. Вып.105. С.103-112.

На примере неоднородной урбанизированной территории г. Красноярска получены и рассмотрены характеристики городской застройки. Для получения ветровых характеристик использованы полуэмпирические соотношения. Показано влияние плотности, высоты и проницаемости застройки на горизонтальную составляющую скорости ветра.

Ил.5. Табл. 1. Библ.3.

УДК 551.513.22

Расчет циркуляции воздуха в городских агломерациях с явным учетом элементов ландшафта. Шлычков В.А. Труды СибНИГМИ. 2006. Вып.105. С.113-120.

Структура воздушных потоков в городском ландшафте имеет сложный характер и сильно зависит от конкретных метеорологических и морфологических условий. Наиболее экологически опасные ситуации реализуются при устойчивой стратификации и слабом ветре. Для целей воспроизведения микроциркуляции воздуха с индивидуальным описанием отдельных зданий сформулирована численная гидродинамическая модель. Расчетные параметры полей скорости и турбулентности используются для решения уравнения переноса и диффузии пассивной примеси. Приводится пример расчета для одного из районов г.Новосибирска.

Ил.2. Библ.8.

УДК 502.7

Семипалатинский ядерный полигон: как погасить эхо взрывов? Барахтин В.Н. Труды СибНИГМИ. 2006. Вып.105. С. 121-129.

В статье обсуждается проблема ликвидации последствий радиационного воздействия на население Сибири от ядерных взрывов на Семипалатинском полигоне. Отсутствие федерального финансирования и координации работы со стороны Министерства по делам ГО и ЧС, пассивность руководителей Новосибирской области привели к тому, что 10 лет не выполняется Постановление Правительства РФ № 534, обязывающее ряд ведомств, в том числе Росгидромет, дать оценку масштабов радиоактивного загрязнения территории области от воздушных взрывов. Одним из основных условий выполнения поставленной задачи является снятие грифа секретности с информации Минобороны, комплексная оценка всех данных наблюдений за радиоактивностью и расчет доз облучения по методу Центрального физико-технического института МО.

Библ.15.

УДК 551.511.61

Реконструкция полей длительного техногенного загрязнения местности.

Рапута В.Ф. Труды СибНИГМИ. 2005. Вып.105. С.129-139.

Проведено построение малопараметрических моделей оценивания локального и регионального загрязнения местности аэрозольными источниками. В их основе существенно использованы свойства подобия процессов распространения примеси и статистических характеристик гидрометеорологического режима в приземном и пограничном слоях атмосферы. Приводятся результаты апробации моделей на данных экспедиционных исследований загрязнения снежного покрова тяжёлыми металлами в окрестностях Норильского медеплавильного завода.

Ил.3. Библ.7.

УДК 551.510.42

Карты фонового загрязнения атмосферного воздуха некоторых городов Западной Сибири. Селегей Т.С., Быков А.П., Суслина Т.А., Ленковская Т.Н.. Труды СибНИГМИ. 2006. Вып.105. С.140-148.

В статье рассматриваются два метода получения значений фоновых концентраций загрязняющих веществ в атмосферном воздухе городов: экспериментальный, который основан на использовании данных измерений на постах Гидрометслужбы, и расчетный, основанный на сводных расчетах полей концентраций от совокупности выбросов промышленных предприятий, автотранспорта и печного отопления частного жилого сектора. Анализируются достоинства и недостатки каждого метода.

В качестве примера показан вид карты-схемы распределения значений фоновых концентраций по пыли в одном из городов Западной Сибири, полученных расчетным методом.

Ил. 1 . Библ. 5.

УДК 551.510.42

Содержание приземного озона в атмосферном воздухе г.Новосибирска. Селегей Т.С., Филоненко Н.Н., Ленковская Т.Н., Казьмин О.Е. Труды СибНИГМИ. 2006. Вып.105. С.149-157.

На основании данных озонатора за 2003-2004 гг проводится анализ суточного и годового хода концентраций приземного озона в условиях крупного сибирского промышленного мегаполиса.

Анализируются причины появления высоких концентраций приземного озона в г.Новосибирске.

Ил. 5. Библ. 3.

УДК 551.579.5

Гидрологическое состояние черноземов южных тяжелого гранулометрического состава. Кравцов Ю.В. Труды СибНИГМИ. 2006. Вып.105. С.158-164.

Представлены результаты исследований гидрологического состояния черноземов южных тяжелого гранулометрического состава Ишимской степи. Рассматривается сезонная динамика влажности и водного режима почв. Обсуждаются экологические аспекты влияния хозяйственной деятельности на состояние почв. Делаются выводы о степени благоприятности условий для культивирования яровых зерновых культур и многолетних трав.

Библ.3.

УДК 633.49:631.559

О применении динамической модели формирования урожая картофеля с суточным разрешением для прогнозирования урожайности в условиях Сибири. Набока В.В. Труды СибНИГМИ. 2006. Вып.105. С.165-184.

Приведены результаты разработки методов прогноза средней урожайности картофеля всех категорий хозяйств по территории Новосибирской области и Красноярского края. Впервые в качестве средства расчетов ожидаемой урожайности

использована динамическая модель формирования урожая картофеля с суточным разрешением, разработанная на основе одного из вариантов динамической модели " Погода-Урожай " (ВНИИСХМ).

Обсуждаются варианты методологического подхода к проблеме. Изложена технология расчета ожидаемой урожайности с заблаговременностью менее 2-х месяцев с использованием инерционного и долгосрочного прогнозов погоды.

Табл.4. Библ. 11.

УДК 551.509

Динамика урожайности яровой пшеницы на территории юго-востока Западной Сибири во второй половине XX века. [Костюков В.В.], Старостина Т.В. Труды СибНИГМИ. 2006. Вып.105. С.185-187.

В работе приводятся и обсуждаются результаты расчетов разнообразных статистических характеристик многолетней динамики урожайности яровой пшеницы по Томской, Новосибирской, Кемеровской областям и Алтайскому краю.

Получены уравнения трендов культуры земледелия и экстремальных значений урожайности, на основе которых сделан вывод о том, что хозяйственная урожайность приблизится к уровню реально возможной не раньше, чем через 100 лет, при условии сохранения текущей культуры земледелия.

Табл.3. Библ.2.

УДК 551.577.62

Влияние засух и суховеев на продуктивность яровой пшеницы в юго-восточной части Западной Сибири (Томская, Новосибирская, Кемеровская области, Алтайский край). [Черникова М.И.] Труды СибНИГМИ. 2006. Вып. 105. С.188-192.

Исследовано влияние засух на потери урожая зерна яровой пшеницы в амбарном весе. Установлено, что засуха на юго-востоке Западной Сибири уносит до 74% среднего областного урожая, по административным районам до 99%.

Табл.2. Библ.6.