

Заключение. При окончательном картировании ОМЯ в систему уравнений (6) и (7) вводятся дополнительные переменные, учитывающие трендовую составляющую в пределах локальной поверхности. Выражения тренда связаны географическими координатами контрольных точек и точек, в которых проводится оценка. Оцениваемые точки расположены в узлах прямоугольной сетки, задаваемой, по мере необходимости, с определенным шагом. Скорректированные уравнения (6) и (7) позволяют одновременно оценивать как трендовую компоненту, так и регионализованную переменную. Однако, при оценке значений в узловой точке необходимо использовать большее количество контрольных точек, в отличие от случая со стационарными переменными, что обеспечивает дополнительные степени свободы при оценке коэффициентов крайгинга. В противном случае, процесс крайгинга приводит к одинаковым оценкам, как для тренда, так и для самой стационарной поверхности.

Анализ поверхностей тренда позволяет выделить глобальные, региональные и локальные составляющие в распределении на территории Беларуси ОМЯ. В выделенных нами районах должны предусматриваться первоочередные комплексные защитные мероприятия, исключающие и снижающие негативное воздействие опасных метеорологических явлений на экономику и окружающую среду Беларуси.

СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Климат Беларуси / В.Ф. Логинов [и др.]; НАН Беларуси, Ин-т геол. наук; под общ. ред. В.Ф. Логинова. – Минск, 1996. – 235 с.
2. Стихийные гидрометеорологические явления на территории Беларуси: Справочник / Под ред. М.А. Гольберга. – Минск: Белорусский научно-исследовательский центр Экология, 2002. – 132 с.
3. Дэвис, Дж. С. Статистический анализ данных в геологии / Дж. С. Дэвис; под ред. Д.А. Родионова. – Москва: Недра, 1990. – Кн. 2. – 427 с.

Материал поступил в редакцию 27.03.12

VALUYEV V.E., VOLCSEK A.A., MESHK O.P., SHPOKA I.N. Specifics of spatial distribution to territories of Belarus of the dangerous meteorological phenomena in a context of the analysis of surfaces of a trend

The spatial distribution of the dangerous meteorologic phenomens on territory of Republic Belarus is estimated. The trend analysis of the dangerous meteorologic phenomens is executed. For mapping the information is advised Kriging.

УДК 553.97

Глушко К.А., Водчиц Н.Н., Стельмашук С.С.

ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ, ПРОИСХОДЯЩИХ В ПОЧВЕ ПРИ ЕЕ ПРОМЕРЗАНИИ

Ведение. Водный и тепловой режим почв в период весеннего половодья определяет фильтрационные процессы, протекающие в ней. Он формируется в течение зимнего периода и во многом зависит от климатических и гидрологических условий региона. Знание физико-химических процессов, происходящих в почве при ее промерзании, позволяет разработать комплекс инженерных мероприятий по предотвращению подтопления территорий, вымочек сельскохозяйственных культур.

Мерзлой называют почву, имеющую отрицательную температуру [47], и содержащую в своем составе воду полностью или частично в замерзшем состоянии. Особенностью мерзлой почвы является то, что вода в ней находится в трех агрегатных состояниях: в виде льда, пара и незамерзшей воды. Не вдаваясь в детали молекулярно-кинетической теории, необходимо отметить, что незамерзшая вода в мерзлой почве представляет собой часть связанной воды [51]. Количество ее зависит от отрицательной температуры; количество ее уменьшается, как будет показано в последующем, с понижением температуры и увеличивается с повышением. Таким образом, между льдом, почвой и незамерзшей влагой наблюдается постоянно динамическое равновесие. Справедливость этого утверждения подтверждена лабораторными калориметрическими исследованиями З.А. Нересовой [2, 34, 35], а для тонкодисперсных пород А.А. Ананяном [1, 2, 3]. Установлено [1–3, 12, 34, 35], что замерзание воды происходит при определенном диапазоне температур; сначала замерзает свободная, затем рыхлосвязанная, а при достаточно низкой температуре – прочносвязанная.

Н.А. Цытович [50] выделяет три температурные области фазовых переходов воды в лед в мерзлых почвах:

1) область значительных фазовых превращений, где изменение

количества незамерзшей воды на 1°C составляет более 1%,

2) область переходную, где изменение содержания незамерзшей воды на 1° С колеблется в пределах 0,1–1%

3) область практически замерзшего состояния, где фазовые превращения воды на 1°C не превышают 0,1%.

В настоящее время накоплен значительный экспериментальный материал по содержанию и изменению количества незамерзшей воды в торфе [13, 22, 27]. Характер изменения в нем незамерзшей воды подчиняется общим закономерностям, выдвинутым Н.А.Цытовичем. Отмечается, что и в торфе при сравнении количества незамерзшей воды в циклах промерзания и оттаивания наблюдается гистерезис [52]. Установлено, что количество незамерзшей воды в цикле промерзания меньше, чем в цикле оттаивания. Б.А.Савельев [44] связывает это с влиянием менисковых сил.

На количество незамерзшей влаги в торфе практически не оказывает состояние его влажности и дисперсности, что нельзя сказать о степени разложения; увеличение количества незамерзшей влаги растет со степенью разложения, но незначительно и соизмеримо с ошибкой опыта [40].

Опыты по исследованию количества незамерзшей влаги от степени минерализации торфа показали, что количество незамерзшей воды в органогенных грунтах определяется в основном наличием в них органической составляющей и ... тем выше, чем больше в них органической составляющей [11, 34].

Еще Н.А. Цытовичем [50] отмечалось расхождение в содержании незамерзшей воды, в частности в глине, в зависимости от давления. В работах [48], отмечается снижение границы порогового значения соответствующего фазовому переходу воды в лед с увеличением давления.

Содержание и состав водно-растворимых соединений суще-

Глушко Константин Александрович, к.т.н., доцент кафедры сельскохозяйственных гидротехнических мелиораций Брестского государственного технического университета.

Водчиц Николай Николаевич, к.т.н., доцент, зав. кафедрой сельскохозяйственных гидротехнических мелиораций Брестского государственного технического университета.

Стельмашук Степан Степанович, к.т.н., доцент кафедры сельскохозяйственных гидротехнических мелиораций Брестского государственного технического университета.

Беларусь, БрГТУ, 224017, г. Брест, ул. Московская, 267.

ственно влияют на количество незамерзшей воды, которое определяется количеством и составом этих соединений [15], изменением структуры и водных свойств торфа за счет ионного обмена [53] и проявляется непосредственно в понижении температуры замерзания раствора в почве. Влияние растворенных в торфе солей сказывается при температурах близких к 0° С.

Наблюдениями в природных условиях и лабораторными опытами установлено, что в процессе длительного промерзания почвы в мерзлом слое наблюдается дополнительное приращение влаги по сравнению с исходным состоянием. В основе этого явления лежит миграция влаги из талой зоны в мерзлую. Это явление относится к одному из наиболее сложных и важных, отмечается в работе [4-6, 30]. М.И.Сумгин [47] писал: "Миграция влаги в замерзающих грунтах имеет много общего с миграцией в талых грунтах, но имеет и свои особенности в количественном и качественном отношении. Вода в виде пара в замерзающих грунтах передвигается, как и в талых грунтах от мест с большей упругостью паров к местам с меньшей упругостью их, а так как упругость паров прямо пропорциональна температуре, то и передвижение водяных паров идет от пород имеющих более высокую температуру к породам с более низкими температурами. В настоящее время имеется ряд теорий миграции, в которых авторы отстаивают свою точку зрения. Среди теорий кристаллизационно-пленочного [7, 18], вакуумно-компрессионного [10, 47], диффузионного механизмов [20] передвижения влаги, наиболее признан кристаллизационно-пленочный. Он обусловлен наличием пленок незамерзшей жидкости на поверхности частиц почвы и кристаллов льда.

Общеизвестными фактами в мире науки является то, что интенсивность миграции зависит от степени дисперсности, минералогического и химического состава, плотности, температурного режима, наличия дополнительного источника влаги.

Установлено, что миграционный поток зависит от коэффициента влагопроводности талого торфа; увеличивается с увеличением последнего и с уменьшением расстояния до уровня воды. На интенсивность миграции влаги значительное влияние оказывает температурный режим. Невысокий термический градиент способствует и незначительному миграционному потоку. Однако установлено, что с ростом скорости промерзания растет миграционный поток до критической величины [52] после чего начинает падать.

Основная масса льдонакопления откладывается на границе промерзания, однако в работах [17, 52] отмечается, что миграция влаги наблюдается и внутри зоны промерзания, а льдонакопление происходит в мерзлой зоне. Естественно предположить, что такой процесс имеет место при быстром продвижении границы промерзания, когда часть порового пространства остается свободным и способным принять дополнительное количество влаги. Медленное продвижение фронта промерзания способствует формированию сплошных линз льда, прерывающих миграционный поток.

Миграция влаги к фронту промерзания на сельскохозяйственных угодьях, в частности на осушенных торфяниках, представляет собой открытую систему, т.е. с обеспеченным подтоком влаги от уровня грунтовых вод. Такой тип миграции исследовался авторами работ [4, 5, 6, 9, 39, 41, 57].

Особенностью миграции в органогенных породах является наличие структурного сцепления торфа, который препятствует распучиванию и создает напряженное состояние в мерзлой среде [5]. Это явление приводит к уменьшению миграционного потока.

Обзор существующих методов расчета глубины сезонного промерзания и протаивания подробно изложен в ряде работ [14, 28, 32, 37, 49, 54]. Является общеизвестным фактом то, что глубина промерзания почвы является величиной переменной не только во времени, но и в пространстве. Этому способствует целый комплекс постоянных и временных факторов, активно или пассивно способствующих процессу промерзания или оттаивания. Их взаимосвязь, комбинации, являются также переменными и упорядоченной классификации не подлежат.

Однако основные факторы, определяющие сезонное промерзание разделяются на следующие [32]:

- 1) внутренние, характеризующие водно-физические и тепловые свойства почв;
- 2) внешние, обуславливающие воздействие климата;

3) факторы, характеризующие тепловое взаимодействие промерзающего слоя почвы с атмосферой.

Теплофизические свойства торфа существенно зависят и от влажности [13, 22, 26, 27, 41, 55], и увеличиваются с ней. Следует предположить, что с ростом влажности и соответственно теплопроводности будет расти и глубина промерзания, однако "... наиболее сильно влажность влияет на глубину сезонного промерзания ... через фазовые переходы воды, доля участия которых в общих теплооборотах пород нередко достигает 50 и более процентов. При этом, чем больше влажность пород, тем больше тепла затрачивается на фазовые переходы воды в них и тем меньше глубина сезонного промерзания" [28]. Установлено, что наблюдается рост глубины промерзания с ростом влажности от нуля до W_n , соответствующее количеству незамерзшей воды в порах. Объясняется это тем, что теплопроводность увеличивается больше, чем теплоемкость, влага остается незамерзшей, а почва талой [29]. В естественных условиях влажность почвы всегда превышает количество незамерзшей влаги, поэтому здесь преобладает теплота фазовых переходов.

Теплоизолирующая роль снега известна. Этот процесс исследовали многие авторы. Результаты исследований можно найти в многочисленных работах [28, 29, 43, 53, 57]. Роль снежного покрова заключается в изменении теплообмена на поверхности земли. Снежный покров отражает лучистую энергию и понижает температуру с одной стороны, и в то же время выполняет теплоизолирующую роль, сохраняя глубинное тепло земли с другой стороны. Насколько эффективна теплоизолирующая роль снега, можно судить по результатам многочисленных и специально поставленных опытов А.М. Шульгиным [56] на основании которых он утверждает, что можно путем искусственного снегозадержания формировать температурный режим почвы по необходимости вплоть до талого состояния.

Для приближенных расчетов теплового влияния снега применяется сокращенная формула В.А. Кудрявцева [33], выведенная на основе обработки статистических данных. Формула имеет вид:

$$t_{сн} = t_э \left[1 - e^{(-h_c (3,14/a_c \tau) 0,5)} \right], \quad (1)$$

где $t_э$ – годовая амплитуда температурных колебаний воздуха;

h_c – высота снежного покрова;

a_c – температуропроводность снежного покрова;

τ_c – период годовых температурных колебаний.

Из формулы следует, что отепляющее влияние снега зависит от его мощности и его теплопроводности, и пропорционально континентальности климата.

На отепляющую роль снега на торфяниках указывали в своих работах Афанасик Г.И. [5, 6], Закржевский П.И. [19], Рудой А.У. [43], Ивицкий А.И. [21], Шебеко В.Ф. [54, 55] и др.

Влияние растительного покрова на глубину промерзания проявляется через теплообмен между почвой и атмосферой. Растительный покров является, как и снег, теплоизолятором, и препятствует выделению, тепла из почвы. Для расчета теплового влияния растительного покрова (как слоя теплоизоляции), Э.Д. Ершовым предлагается приближенная зависимость

$$t_{рас} = \frac{\Delta t_1 \cdot \tau_1 + \Delta t_2 \cdot \tau_2}{T}, \quad (2)$$

где Δt_1 и Δt_2 – разница в среднесуточных температурах воздуха на поверхности растительного покрова и под ним соответственно за холодное и теплое время года;

τ_1 и τ_2 – продолжительность существования соответственно отрицательных и положительных температур воздуха.

Промерзание и оттаивание почвы обусловлено периодическим изменением притока солнечной радиации, которая изменяется не только во времени, но и зависит от экспозиции поверхности относительно стран света и крутизны склона. Поэтому положение локального участка в рельефе местности определяет его температурный режим и является сильнодействующим фактором. Учитывая важ-

ность этого момента для всей последующей работы, остановимся подробнее на его основных положениях.

На поверхность почвы солнечная радиация поступает в виде прямого солнечного излучения. Проходя через атмосферу, она рассеивается молекулами газов, воздуха, капельками жидкости, пыли и др. Эта часть радиации поступающая из всех точек небосвода, после рассеивания в воздухе попадает на поверхность почвы и воды в виде рассеянной радиации. Прямая и рассеянная радиации относятся к коротковолновой части спектра (длина волн от 0,17 до 4 мк). Земной поверхности достигают лучи с длиной больше 0,29 мк [46]. Суммарная радиация будет равна

$$G = G_{пр} + G_{рас}, \quad (3)$$

где $G_{пр}$ – прямая солнечная радиация,

$G_{рас}$ – рассеянная солнечная радиация

Величина поглощенной радиации зависит в значительной степени от наклона поверхности. При падении на вертикальную стену ее рассчитывают по формуле

$$G_{пр.в} = G_1 \cdot \cosh_o \cos(A_o - A) \quad (4)$$

при падении на наклонную

$$G_{пр.н} = G_{пр.в} \cdot \sin \alpha + G_{пр.г.} \cdot \cos \alpha, \quad (5)$$

где $G_{пр.в.}$ – прямая солнечная радиация, поступающая на вертикальную поверхность;

$G_{пр.н.}$ – прямая солнечная радиация, поступающая на наклонную поверхность;

G_1 – прямая солнечная радиация, поступающая на перпендикулярную лучам поверхность;

$G_{пр.г.}$ – прямая солнечная радиация, поступающая на горизонтально поверхность;

h_o – высота солнца;

A_o – азимут солнца;

A – азимут нормали к вертикальной поверхности;

α – крутизна склона.

Интенсивность и сумму рассеянной радиации, падающей на склон или вертикальную поверхность, можно рассчитать по формуле

$$G' = G_{рас} \cdot \cos^2 \alpha / 2 + G_{рас} A_n \cdot \sin^2 \alpha / 2, \quad (6)$$

где A_n – альbedo горизонтального участка, примыкающего к склону.

В марте-апреле, когда проходит на Полесье паводок, приход радиации после полудня превышает приход радиации до полудня. Этот фактор необходимо учитывать, т.к. он не допускает симметричного распределения радиационного излучения Солнца в течение дня.

Неравномерность прогревания склонов, промерзания в зимний период отмечают многие исследователи [16, 32, 45] и др. Отмечается, что в порядке понижения среднегодовой температуры в зависимости от экспозиции склона, они располагаются в следующей последовательности [27]: южные, юго-западные, северо-восточные, северные. Аналогичные данные получены В.Ф.Темелем по району Иркут-Байкальского водораздела [32]. Экспериментально доказано, что интенсивность оттаивания на южных склонах в 1,5–1,6 раза превосходит интенсивность оттаивания северного склона. В научной литературе отсутствует информация о распределении радиационного излучения Солнца по поверхности особо мелких микропонижений, в частности борозды. Имеется отдельные сведения о формировании теплового режима в них на торфяных и суглинистых почвах [31, 43].

Особенностью борозды в период паводка является то, что она при наличии поверхностного стока затопливается талой водой. Поэтому в этот период ее термический режим формируется под воздействием теплообмена, который непрерывно происходит между водой и окружающими средами [39].

К.И. Российский [42] для открытых водоемов разделяет теплообмен на следующие составляющие:

- поглощение водой прямой и рассеянной радиации;

- эффективное излучение водной поверхности, представляющее собой разность между излучением тепла водою и встречным излучением атмосферы;

- теплота испарения воды с площади водного зеркала водоема.

Поглощенное радиационное излучение солнца составляет наиболее существенную долю общего обмена теплом. По данным А.А. Пивоварова при глубоких водоемах более 3 м. Вся энергия излучения поглощается водой. Данные приведенные в работе [24] показывают дифференцированное поглощение энергии с глубиной. Порядка 36% поглощается верхним 20-сантиметровым слоем воды. Закономерно, что чем меньше слой воды, тем больше энергии доходит до ложа и поглощается им. С другой стороны, периферийные точки борозды, микропонижения промерзают глубже за зиму и больше затенены. Поэтому остается открытым вопрос о нахождении координаты точки борозды или микропонижения, аккумулирующей вместе с выше расположенным слоем воды, максимум энергии радиационного излучения солнца при минимуме глубины промерзания.

Заключение

1. Многими исследователями установлено, что мерзлые почвогрунты различного механического состава, включая и осушенные торфяники, фильтруют талые воды во время схода снега и формирования половодья.
2. Увеличение влажности почвы способствует уменьшению глубины ее промерзания за счет фазовых переходов воды в лед.
3. Льдонакопление в мерзлом слое почвы обусловлено миграцией влаги. Интенсивность миграции пропорциональна градиенту температур.
4. На глубину промерзания почвы и скорость ее оттаивания оказывает влияние экспозиция участка, обуславливающая неравномерность прогревания склонов.
5. Природа формирования талых воронок в микропонижениях, мест локального перетока талых вод в грунтовые, не раскрыта.

СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Ананян, А.А. Особенности воды в промерзающих тонкодисперсных горных породах / А. А. Ананян // Поверхностные силы в тонких пленках и дисперсных системах. – М.: Наука, 1972. – С. 269–270.
2. Ананян, А.А. Оценка средней толщины пленок в талых и мерзлых тонкодисперсных горных породах / А.А. Ананян // Связанная вода в дисперсных системах. – М.: Изд-во МГУ, 1972. – Вып. 2. – С. 106–113.
3. Ананян, А.А. Содержание незамерзшей воды в мерзлом суглинке в интервале температур от -6 до -40 -60 °C / А.А. Ананян // Мерзлотные исследования. – М.: Изд-во МГУ, 1970. – Вып. 10. – С. 267–270.
4. Афанасик, Г.И. Моделирование и расчет водно-теплового режима почв в зимний период / Г.И. Афанасик // Прогнозы водного режима при мелиорации земель: сб. научных статей. – Мн., 1988. – С. 31–88.
5. Афанасик, Г.И. Исследование водно-теплового режима низинных торфяников в зимний период: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 06.01.02 / Г.И. Афанасик – Мн.: БелНИИМВХ, 1965. – 20 с.
6. Афанасик, Г.И. Тепло- и влагоперенос в процессе промерзания торфозалежей с неглубоким залегающим уровнем грунтовых вод / Г.И. Афанасик // Мелиорация и использование осушенных земель. – Мн., 1966. – Т. 14. – С. 40–47.
7. Баженова, А.Г. Значение осмотических сил в процессе миграции влаги в грунтах / А.Г. Баженова // Материалы по лабораторному исследованию мерзлых грунтов. – М., 1957. – Вып. 3. – С. 129–141.
8. Втюрина, Е.А. Льдообразование в горных породах. / Е.А. Втюрина, В.И. Втюрин. – М.: Наука, 1970. – 280 с.
9. Гамаюнов, Н.И. Методика экспериментального исследования объемно-напряженного состояния во влажных дисперсных материалах при фазовых переходах / Н.И. Гамаюнов, Д.М. Стотланд, И.Б. Довбин // Физика процессов торфяного производства. – Калинин, 1960. – С. 52–69.
10. Галесь, С.И. О причинах миграции влаги и образовании прослоек льда в промерзающих грунтах / С.И. Галесь. – Л.: Лентранс, 1956. – 26 с.

11. Глушко, К.А. Исследование инфильтрации талых вод на осушаемых торфяниках: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 06.01.02 / К.А. Глушко – Мн.: БелНИИМиВХ, 1996. – 21 с.
12. Глушко, К.А. Исследование фазового состава почвенной влаги и ее влияние на водопроницаемость осушенных торфяников в период весеннего половодья / Н.Н. Водчиц, Н.Н. Шешко // Вестник БрГТУ. Водохозяйственное строительство, теплоэнергетика и геоэкология. – 2011. – №2(68). – С. 13–17.
13. Давидовский, П.Н. Тепло- и массоперенос в промерзающих торфяных системах / П.Н. Давидовский, Г.П. Бровка. – Мн.: Наука и техника, 1985. – 50 с.
14. Доставалов, Б.Н. Общее мерзлотоведение / Б.Н. Доставалов, В.А. Кудрявцев. – М.: Изд-во МГУ, 1967. – 403 с.
15. Ершов, Э.Д. Содержание незамерзшей воды в зависимости от структуры порового пространства и засоленности грунтов / Э.Д. Ершов, Ю.П. Акимов, В.Г. Чеверев // Мерзлотные исследования. – М., 1974. – Вып. 17. – С. 207–214.
16. Ершов, Э.Д. Физика, химия и механика мерзлых пород / Э.Д. Ершов. – М.: Изд-во МГУ, 1986. – 439 с.
17. Ершов, Э.Д. Влагоперенос и криогенные текстуры в дисперсных породах / Э.Д. Ершов. – М.: Изд-во МГУ, 1979. – 215 с.
18. Ершов, Э.Д. Приближенная количественная оценка влияния различных факторов природной обстановки на температурный режим пород / Э.Д. Ершов // Мерзлотные исследования. – М., 1971. – С. 42–56.
19. Закржевский, П.И. Постоянно затопленный дренаж / П.И. Закржевский. – Мн.: Ураджай, 1982. – 124 с.
20. Иванов, И.С. Тепло- и массоперенос в мерзлых горных породах / И.С. Иванов. – М.: Наука, 1969. – 240 с.
21. Ивицкий, А.И. Осушительное действие дренажа на минеральных почвах: мелиорация и использование осушенных земель / А.И. Ивицкий. – Мн.: Ураджай, 1968. – Вып. 1. – С. 3–23.
22. Калюжный, И.Л. Гидрофизические исследования при мелиорации переувлажненных земель / И.Л. Калюжный, К.К. Павлова, С.А. Лавров. – Л.: Гидрометеиздат, 1988. – 260 с.
23. Калюжный, И.Л. Содержание незамерзшей воды в почвах речных водосборов при отрицательных температурах / И.Л. Калюжный, С.А. Лавров // Метеорология и гидрология. – 2002. – № 10. – С. 58–67.
24. Кириллова, Т.В. Радиационный баланс озер и водохранилищ / Т.В. Кириллова. – Л.: Гидрометеиздат, 1970. – 205 с.
25. Комаров, В.Д. Исследование весеннего стока рек бассейна р. Оки / В. Д. Комаров // Труды ЦИП, 1947. – Вып. 4(31). – С. 58–100.
26. Коновалов, А.А. К определению эффективных значений теплофизических характеристик промерзающих и оттаивающих грунтов / А.А. Коновалов // Строительство в районах Восточной Сибири и Крайнего Севера. – Красноярск, 1975. – С. 143–161.
27. Коновалов, А.А. Зависимость теплофизических характеристик торфа и заторфованных грунтов от их физических свойств: VI совещание-семинар по обмену опытом строительства в суровых климатических районах / А.А. Коновалов. – Красноярск, 1970. – С. 97–104.
28. Основы мерзлотного прогноза при инженерно-геологических исследованиях / В. А. Кудрявцев [и др.]. – М.: Изд-во МГУ, 1974. – 431 с.
29. Кудрявцев, В.А. Общее мерзлотоведение / В.А. Кудрявцев. – М.: Изд-во МГУ, 1978. – 459 с.
30. Маламед, В.Г. О математической постановке задачи промерзания и миграции влаги в тонкодисперсных и влажных грунтах / В.Г. Маламед, А.В. Медведев // Мерзлотные исследования. – М., 1978. – Вып. 11. – С. 69–75.
31. Лавров, С.А. Математическое моделирование теплообмена и потоков CO₂ на поверхности верхового болота / С.А. Лавров, Ю.А. Курбатович // Известия РАН. Сер. Физика атмосферы и океана. – 2005. – № 5. – С. 631–642.
32. Мельников, П.И. Общее мерзлотоведение / П.И. Мельников, Н.И. Толстихин. – Новосибирск: Наука, Сибирское отделение, 1974. – 356 с.
33. Методика комплексно-гидрологической и инженерно-геологической съемки. – М.: МГУ, 1970 – 354 с.
34. Нересова, З.А. Инструктивные указания по определению количества незамерзшей воды, льда в мерзлых грунтах: материалы по лабораторному исследованию мерзлых грунтов: материалы по лабораторному исследованию мерзлых грунтов. – М., 1954. – Вып. 2. – С. 55–57.
35. Нересова, З.А. Фазовый состав воды в грунтах при замерзании и оттаивании: материалы по лабораторному исследованию мерзлых грунтов. – М., 1953. – Вып. 1. – С. 37–51.
36. Пехович, А.И. Расчет теплового режима твердых тел / А.И. Пехович, В.М. Жидких. – Л.: Энергия, 1968. – 303 с.
37. Порхаев, Г.В. Тепловое взаимодействие зданий и сооружений с мерзлыми грунтами / Г.В. Порхаев. – М.: Наука, 1970. – 208 с.
38. Установка для исследования миграции влаги и пучения в промерзающих грунтах // Физика процессов торфяного производства. – Калинин, 1980. – с. 53.
39. Рекомендации по термическому расчету водохранилищ. – Л.: ВНИИГ им. Б.Е.Веденеева, 1986. – 39 с.
40. Роман, Л.Г. Фазовые переходы грунтовой влаги в торфе / Л.Г. Роман // Строительство в районах Восточной Сибири и Крайнего Севера. – Красноярск, 1987. – С. 96–105.
41. Роман, Л.Г. Теплофизические свойства талых и мерзлых заторфованных грунтов и сжимаемость их при оттаивании / Л.Г. Роман // Инженерная геокриология (мерзлотоведение). – М., 1973. – Т. 24. – С. 83–103.
42. Российский, К.И. Термический режим водохранилищ / К.И. Российский. – М.: Наука, 1979. – 167 с.
43. Рудой, А.У. Промерзание и оттаивание дренированных дерново-подзолистых почв тяжелого механического состава / А.У. Рудой // Мелиорация переувлажненных земель. – Мн.: Ураджай, 1976. – Т. XXIV. – 123–129 с.
44. Савельев, Е.А. Физика, химия и строение природных льдов и мерзлых пород / Е.А. Савельев. – М.: Изд-во МГУ, 1971. – 506 с.
45. Соколова, Н.В. О пространственной и временной изменчивости промерзания почвы в бассейне р. Дон / Н.В. Соколова // Труды ин-та ГГИ. – 1974. – Вып. 214. – С. 229–242.
46. Справочник по климату СССР. – Л.: Гидрометеиздат, 1966. – 66 с. – Вып. 7: Белорусская ССР, ч. I. Солнечная радиация, радиационный баланс и солнечное сияние.
47. Общее мерзлотоведение / М.И. Сумгин [и др.]. – М.-Л.: Изд-во АН СССР, 1940. – 340 с.
48. Фельдман, Т.Г. К расчету миграции влаги в грунтах при промерзании / Т.Г. Фельдман // Вопросы инженерной геокриологии: тематический сборник. – М., 1969. – Вып. 22. – С. 89–107.
49. Фельдман, Г.М. Методы расчета температурного режима мерзлых грунтов / Г.М. Фельдман. – М.: Наука, 1973. – 254 с.
50. Цытович, Н.А. О незамерзшей воде в рыхлых горных породах / Н.А. Цытович // Изд-во АН СССР. Сер. Геология. – 1947. – № 3. – С. 16–19.
51. Цытович, Н.А. К теории равновесного состояния воды в мерзлых грунтах / Н.А. Цытович // Изв. АН СССР. Сер. Геология. – 1945. – № 5. – С. 493–502.
52. Чистотинов, Л.В. Миграция влаги в промерзающих и водонасыщенных грунтах / Л.В. Чистотинов. – М.: Физматгиз, 1962. – 426 с.
53. Чураев, Н.В. Методы исследования водных свойств и структуры торфа с помощью радиоактивных изотопов / Н.В. Чураев // Новые физические методы исследования торфа. – М.-Л., 1956. – С. 125–137.
54. Шебеко, В.Ф. Промерзание осушаемых болот / В.Ф. Шебеко, А.И. Киселева // Труды ин-та БелНИИМиВХ. – 1976. – Вып. XXIV – С. 151–161.
55. Шебеко, В.Ф. Изменение микроклимата под влиянием мелиорации болот / В.Ф. Шебеко. – Мн.: Наука и техника, 1977. – 286 с.
56. Шехтер, Ф.Н. Расчет глубины промерзания почвы и температуры мерзлой почвы / Ф.Н. Шехтер // Труды ин-та ГГО, 1958. – Вып. 22. – С. 12–17.
57. Шульгин, А.М. Снежная мелиорация и климат почвы / А.М. Шульгин. – Л.: Гидрометеиздат, 1986. – 68 с.

УДК 614.8+504.0612

Шведовский П.В., Волчек А.А.

ОСОБЕННОСТИ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ РЕДКИХ СОБЫТИЙ В ФИКСИРОВАННОМ ПРОМЕЖУТКЕ ВРЕМЕНИ

Введение. Климатические особенности последних десяти лет начинают волновать не только ученых-климатологов, но и общественность в целом. При этом точки зрения на все изменения климата диаметрально противоположные: от глобального потепления через парниковый эффект, до глобального похолодания через нарушение потоков теплых океанических течений и воздушных потоков.

Анализ закономерностей и случайностей климатических процессов. Для долгосрочных и сверхдолгосрочных прогнозов изменений климата обычно служат предикторы, которые имеют большую «память». При этом успех прогнозирования изменения тенденций, основанный на экстраполяции длинных временных рядов, определяется его стационарностью и величиной квазипериодической вариации.

Проанализируем тенденции изменений зимних экстремальных явлений за последнее тысячелетие.

За XI век в русских летописях отмечено всего 25 экстремальных явлений, из них четыре жестокие зимы, что примерно в пять раз меньше, чем в XII в. (120 экстремальных явлений). Постепенное похолодание климата в Европе с этого периода весьма рельефно отражено в русских летописях. Во второй половине XIII в. мягкие зимы чередуются с холодными, но уже в 1187 году стояли морозы, каких прежде на Руси не бывало.

XIII в. и первая половина XIV в. характеризуются умеренными мягкими зимами. В последней четверти XIV в. наступают сильные морозы. В 1378, 1390, 1391 и 1393 годах практически полностью «вымерзли» болота, реки и озера. В 1435 году засвидетельствован возврат холодов в начале лета. Для десятилетия с 1436 по 1445 годы характерны необычайно малоснежные, но холодные зимы. Затем чрезвычайно суровыми были зимы в 1467, 1470, и особенно 1477 год, когда 31 мая еще не растаял на водоемах лед.

С 1491 по 1496 годы снова наблюдались лютые многоснежные зимы.

Повышенная экстремальность природных зимних явлений стала проявляться особенно в XVII в. Из года в год наблюдаются то необычайно холодные, то мягкие, то слишком снежные, то малоснежные (голые) зимы. Нередко возвраты холода весной, заморозки в начале лета или ранней осенью.

Необычайно холодная зима относится к 1624 году. Только в конце мая растаял снег. Через год холода повторились уже в Западной Европе и особенно в Германии.

Климатические условия на Европейской части России в XVIII в. отличались значительными колебаниями. В этот период отмечено 18 жестких зим, в их числе особо суровыми были зимы 1709 и 1740 годы.

XIX в., несмотря на похолодание, охватившее в начале столетия значительную территорию Европейской части России, не отличается значительными колебаниями климата, при этом характерно увеличение числа мягких зим.

В XX в. наиболее суровыми были зимы в 20 и 40-х годах. Но, бесспорно, беспокойство вызывают климатические изменения в 2012 году, когда зима наступила фактически только в начале февраля с массовыми снегопадами от северного полюса до тропиков и

температурами до минус -33° и ниже. Что это - периодическая цикличность или случайный процесс, как проявление крупномасштабных особенностей циркуляции атмосферы?

Методика исследований. Бесспорно, что прогноз таких редких событий в фиксированном промежутке времени не может базироваться на прогнозе редких событий по длинному временному ряду, который позволяет выявить как циклические, так и стохастические закономерности и законы их распределения.

Эта, как и некоторые другие прогнозные задачи, можно решить только методом рандомизации чисел псевдосостояний. Сущность метода «псевдосостояний» состоит в том, что состояния системы, потоки переходов из которых являются немарковскими, заменяются эквивалентной группой фиктивных состояний, потоки переходов из которых являются марковскими. За счет расширения числа состояний системы реальные процессы практически можно свести к марковским. Созданная таким образом новая система является статистически эквивалентной реальной системе и уже может быть исследована с помощью аппарата теории марковских цепей.

К процессам, которые введением фиктивных состояний можно свести к марковским, относятся все процессы, происходящие под воздействием потоков Эрланга, для которых распределение интервалов времени между событиями подчиняется гамма-распределению

$$f(T) = \frac{\lambda(\lambda T)^{k-1} e^{-\lambda T}}{\Gamma(k)} \quad (1)$$

с целочисленным параметром формы k .

Известно, что любой сложной системе можно поставить в соответствие не более двух состояний. Система может находиться в естественном состоянии (S_1) или в измененном (катастрофическом) состоянии (S_2).

Переход из S_1 в состояние S_2 может осуществляться под воздействием реальных потоков множества событий, статистическая информация о которых в общем случае может быть представлена самыми различными вариантами и видами.

Однако все их можно свести к единой форме с помощью Фурье-Стилтьеса преобразования функции распределения плотности

$$\varphi(t) = \int_0^{\infty} e^{it\tau} f(\tau) d\tau, \quad (2)$$

а совокупности случайных величин T_1, T_2, \dots, T_n поставить в соответствие эмпирическую характеристическую функцию

$$\varphi(t) = n^{-1} \sum_{k=1}^n e^{itT_k}. \quad (3)$$

Для того, чтобы добиться статистической эквивалентности исходной информации о времени пребывания системы в определенном состоянии преобразованной случайной величиной, необходимо найти закон распределения числа псевдосостояний (порядок потока Эрланга p_n). Очевидно, что такой закон распределения должен удовлетворить по определению характеристической функции следу-

Шведовский Петр Владимирович, к.т.н., профессор, зав. кафедрой геотехники и транспортных коммуникаций Брестского государственного технического университета.

Беларусь, БрГТУ, 224017, г. Брест, ул. Московская, 267.