

308015, Россия, г. Белгород, ул. Победы, 85;
e-mail: terekhin@bsu.edu.ru

85, Pobedy st., Belgorod, 308015, Russia;
e-mail: terekhin@bsu.edu.ru

Просьба ссылаться на эту статью в русскоязычных источниках следующим образом:

Терехин Э.А. Сукцессии на залежных землях юго-запада Среднерусской возвышенности и их изучение с применением спутниковых данных // Географический вестник = Geographical bulletin. 2017. №2(41). С.118–126. doi 10.17072/2079-7877-2017-2-118-126

Please cite this article in English as:

Terekhin E.A. Successions on abandoned agricultural lands in the South-West of the Central Russian Upland and their investigation using remote sensing data // Geographical bulletin. 2017. № 2(41). P. 118–126. doi 10.17072/2079-7877-2017-2-118-126

УДК 556.535:004

В.Г. Калинин, К.И. Суманеева, В.С. Русаков
АНАЛИЗ МЕТОДОВ ИНТЕРПОЛЯЦИИ ПРОСТРАНСТВЕННОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ
МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПРИ РАСЧЕТАХ ВЕСЕННЕГО
СНЕГОТАЯНИЯ

*Пермский государственный национальный исследовательский университет,
г. Пермь*

При моделировании снеготаяния используются сведения о максимальных снегозапасах перед началом снеготаяния, температуре воздуха, осадках и др. При этом существует проблема перехода от информации, измеренной на метеостанциях, к корректному непрерывному ее пространственному распределению в пределах исследуемой территории.

С этой целью исследованы основные интерполяционные методы, представленные в современных геоинформационных системах, и дана оценка особенностей их функционирования.

Проведено моделирование пространственного распределения метеорологических характеристик (среднемесячных значений дефицита влажности и температуры воздуха) на примере водосбора р. Вишеры различными интерполяционными методами.

Выполнен анализ точности результатов моделирования на основе расчета относительной погрешности моделирования и значений описательной статистики. Выявлено, что наиболее подходящим интерполяционным методом пространственного распределения исследуемых метеорологических характеристик является метод «Естественная окрестность».

Ключевые слова: моделирование, геоинформационные системы, интерполяционные методы, метеорологические характеристики, снеготаяние.

V.G. Kalinin, K.I. Sumaneeva, V.S. Rusakov
INTERPOLATION OF METEOROLOGICAL CHARACTERISTICS SPATIAL DISTRIBUTION
FOR SPRING SNOWMELT: ANALYSIS OF METHODS

Perm State University, Perm

Snowmelt modeling uses information about the maximum snow cover before the process of snow melt starts, data on air temperature, precipitation, etc. However, there is a problem of transition from the data measured at meteorological stations to their correct continuous spatial distribution within the researched area.

For this purpose, the basic interpolation methods which are presented in modern geo-information systems have been studied and the evaluation of their functioning has been performed.

The spatial distribution of meteorological parameters (mean monthly moisture deficit and temperature values) has been simulated with the use of different interpolation methods by the example of the Vishera river catchment.

The accuracy of the simulation results has been analyzed based on the calculation of the modeling relative error and values of descriptive statistics. It has been found that the most suitable interpolation method of meteorological characteristics spatial distribution is the “natural environment” method.

Key words: modeling, geographic information systems, interpolation methods, meteorological characteristics, snowmelt.

doi 10.17072/2079-7877-2017-2-126-137

Введение

Для прогнозирования объема и продолжительности весеннего половодья существенное значение имеет достоверная оценка характера распределения максимальных снегозапасов, ежедневных значений температур воздуха, осадков в период таяния снежного покрова по территории водосбора в весенний период.

Основными исходными данными для расчета и моделирования снеготаяния являются материалы наблюдений на метеорологических станциях (МС), которые в геоинформационных системах представлены точечными объектами, имеющими географическую привязку в соответствующей системе координат. Кроме того, в расчетах также используются полигональные и линейные объекты (контур водосбора, его залесенность, почвенный покров, гидрографическая сеть, а также цифровая модель рельефа, в основе построения которой лежат горизонталы, характерные точки рельефа, урезы воды и др.) [1; 5]. Таким образом, с одной стороны, существует проблема корректного моделирования пространственного распределения характеристик, собранных в точках, а с другой – совмещения разнородной информации.

Совместное использование этой информации возможно с помощью современных геоинформационных систем (ГИС). Однако при моделировании снеготаяния необходимо привести все используемые исходные данные к единому формату. Наилучшим образом для этого подходит растровое представление данных, при котором территория разбивается на квадратные ячейки, в каждой из которых значение картографируемой характеристики считается константой. В современных ГИС широко представлены инструменты, позволяющие переходить от векторных объектов (линии рек, полигоны озер, границы регионов в виде полигонов, точки метеостанций и т.п.) к растрам.

В настоящее время разработано множество программных продуктов, относящихся к ГИС, как проприетарных, так и свободно распространяемых. Исходя из опыта авторов, по набору характеристик (возможности по работе с разными представлениями данных, источниками данных, наличию встроенных инструментов анализа и простоте использования) наилучшим образом для решения поставленной задачи подходит разработка компании ESRI – ArcGIS [8].

В геоинформационном пакете ArcGIS содержатся специально разработанные интерполяционные методы для воспроизведения непрерывного пространственного распределения какой-либо характеристики по значениям, измеренным в опорных точках: «Обратно взвешенные расстояния», «Естественная окрестность», «Сплайн», «Кригинг» и др., выходные данные которых представлены в виде растра. Каждый из этих методов имеет свои особенности вычисления интерполируемых данных, от которых зависит точность результатов моделирования весеннего снеготаяния. Поэтому существует необходимость выбора наиболее подходящего метода интерполяции.

Интерполяционные методы делятся на *детерминированные* и *геостатистические* [8]. Основой *детерминированных* методов интерполяции («Обратно взвешенное расстояние (IDW)», «Естественная окрестность (Natural Neighbor)» и «Сплайн (Spline)») являются измеренные значения, попадающие в «окрестность» интерполируемой точки. Основой *геостатистических* методов интерполяции (например, «Кригинг (Kriging)») являются статистические модели, включающие анализ автокорреляции (статистических отношений между измеренными точками).

В методе «Обратно взвешенных расстояний» (ОВР) интерполируемые значения определяются с использованием линейно-взвешенной комбинации значений из набора опорных точек. Предполагается, что влияние картографируемого значения уменьшается по мере удаления от опорной точки. Вес в этом методе – это функция, обратная расстоянию. Контроль интерполируемых значений определяется параметрами «Степень (Power)», в которую вводят обратное значение расстояния, и

«Количество входных точек», участвующих в интерполяции. Чем больше значение степени, тем меньше влияние будут иметь удаленные опорные точки. Поскольку в методе ОВР среднее значение характеристики вычисляется на основе взвешенных расстояний до опорных точек, то оно не будет выходить за пределы максимального и минимального фактических значений.

В методе «Естественной окрестности (Natural Neighbor)» интерполируемые значения также определяются с использованием веса каждой точки, основываясь на пропорциональных областях (естественных окрестностях). Основным достоинством этого метода является отсутствие «пиков», «ям», «ребер», «точки минимума», поэтому пространственное распределение характеристики более «гладкое», за исключением опорных точек.

В методе «Сплайн (Spline)» интерполяции используются математические функции, которые обеспечивают непрерывность производных этих функций в заданных точках, что обуславливает построение сглаженного пространственного распределения характеристики и совпадение значения функции в опорных точках с фактическим. При этом используется два способа построения: «Регуляризованный (Regularized)» и «С натяжением (Tension)».

В первом создается сглаженное пространственное распределение со значениями, которые могут выходить за пределы диапазона опорных точек. Степень сглаженности определяется параметром «Вес (Weight)», т.е. чем больше вес, тем более сглаженное получается распределение. Во втором способе пространственное распределение ограничено диапазоном опорных точек. Чем больше «Вес (Weight)», тем пространственное распределение получается менее сглаженным.

В параметре «Количество точек (Number of points)» задается число точек, используемых в вычислении интерполируемых значений. Чем больше количество входных точек, тем больше влияние отдаленных точек и тем более сглаженным получается пространственное распределение.

«Кригинг (Kriging)» – это улучшенный геостатистический метод, который позволяет строить пространственное распределение из набора опорных точек. В методе «Кригинг» предполагается, что расстояние между опорными точками отражает пространственную корреляцию. При этом данные используются дважды: первый раз для вычисления расстояний и моделирования пространственной автокорреляции данных, а второй раз – для вычисления интерполируемых значений на основе этой модели. В методе «Кригинг» формируются веса из окружающих опорных точек (аналогично интерполяции в методе ОВР), однако они более сложные и на интерполируемое значение сильнее оказывают влияние близко расположенные опорные точки. Доступны два способа Кригинга: «ординарный» и «универсальный». В первом предполагается, что среднее значение константы не известно. Второй способ основан на предположении, что в данных присутствует доминирующий тренд и его можно моделировать детерминированной функцией (полиномом) [8].

«Нерегулярные сети триангуляции» (TIN) являются способом цифрового отображения структуры поверхности. TIN является формой векторных цифровых географических данных, которые строятся методом триангуляции набора вершин (точек), с каждой из которых связано z -значение. Вершины соединяются серией ребер и формируют сеть треугольников. Существуют различные методы для формирования этих треугольников. В геоинформационной системе ArcGIS реализован метод триангуляции Делоне, в соответствии с которым внутри окружностей, описанных через вершины любого из треугольников в сети, не должно лежать ни одной вершины этих треугольников [3]. С точки зрения интерполяции, получаем поверхность, представляющую собой функцию трех пространственных переменных, при этом в опорных точках модельное значение совпадает с фактическим.

Для решения проблемы корректного моделирования пространственного распределения характеристик использование данного метода авторами признано нецелесообразным по следующим причинам:

- в TIN-модели сохраняются структурные линии поверхности (тальвеги, водоразделы и пр.), а у метеорологических характеристик такого характера пространственного распределения, как правило, не встречается;
- для получения приемлемого результата необходимо большее количество опорных точек, чем то, которым располагают авторы.

Материалы и методы исследования

В работах В.А. Шутова [6], С.Г. Яковченко [7], С.В. Пьянкова и А.Н. Шихова [4] отражено использование таких методов интерполяции пакета ArcGIS, как «Сплайн» и «Кригинг» с учетом характера рельефа и растительного покрова. С целью обоснования выбора наиболее подходящего

метода интерполяции нами выбраны метеорологические характеристики, используемые в расчетах процесса снеготаяния: среднемесячные значения дефицита влажности и температуры воздуха за май месяц на примере 1978 г. [2]. Для получения непрерывного пространственного распределения проведено моделирование этих характеристик с применением рассмотренных выше интерполяционных методов, и выполнена оценка точности результатов моделирования на примере водосбора Вишера-Рябинино (рис. 1).

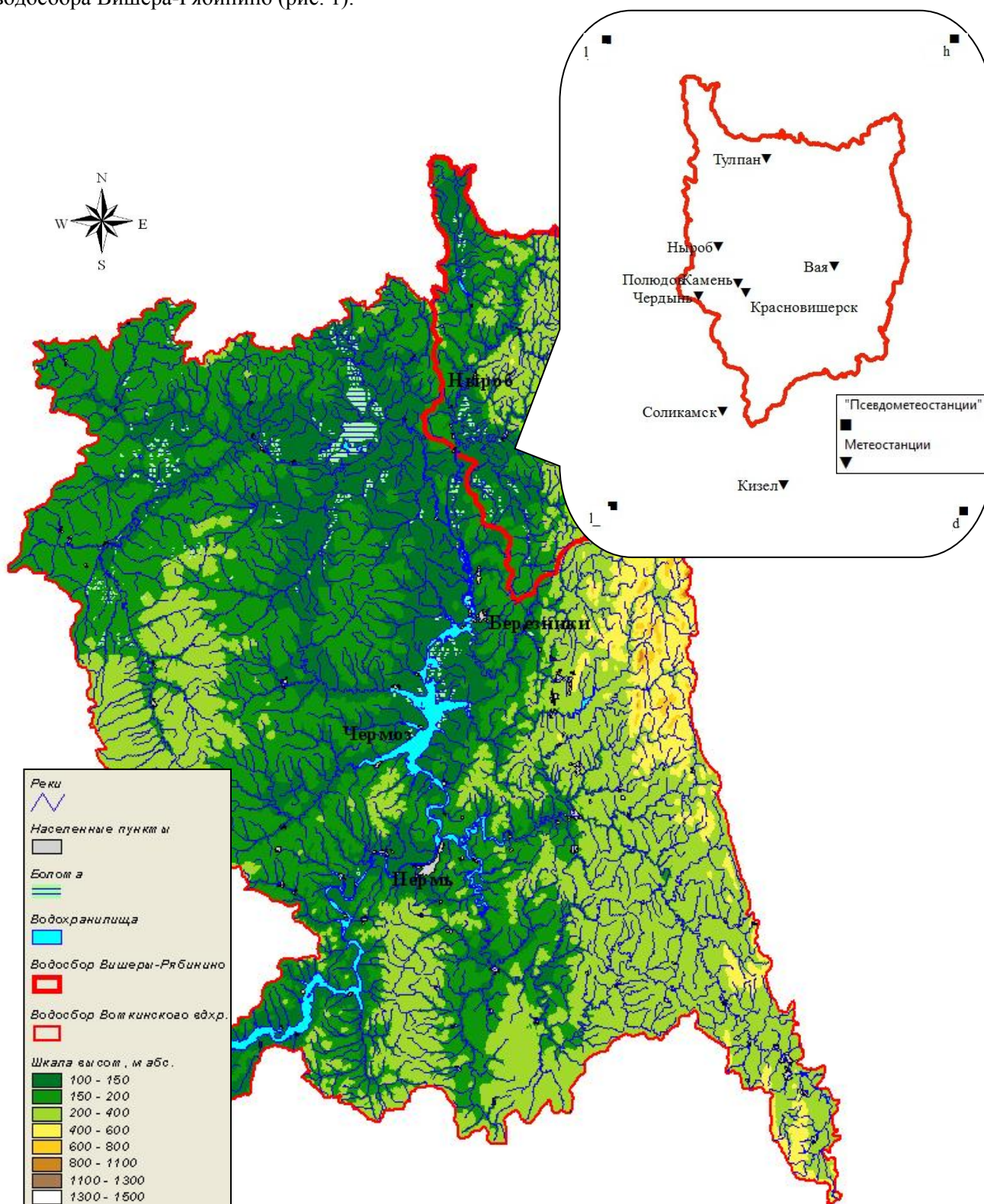


Рис. 1. Местоположение метеорологических станций в пределах водосбора Вишера-Рябинино

Выбор этого водосбора обусловлен относительно большим количеством метеостанций по сравнению с другими водосборами Воткинского водохранилища. Следует отметить, что методы интерполяции дают адекватную картину пространственного распределения характеристик на исследуемой территории при наличии пунктов наблюдений как внутри, так и за ее пределами. Поскольку сеть метеостанций довольно редкая и это условие, как правило, не выполняется, то для корректного моделирования пространственного распределения исследуемых характеристик на границах водосбора необходимо дополнительно ввести точки (псевдометеостанции), расположенные за пределами территории.

Значения исследуемых характеристик в этих точках (рис. 1) возьмем равными значениям ближайших метеостанций (для северных точек – по МС Тулпан, для южных – по МС Кизел).

Для оценки интерполяционных методов выполнены расчеты по следующей методике:

- из набора опорных точек исключались одна из метеостанций и, соответственно, данные по ней;
- выполнялось интерполирование значений с помощью оцениваемого метода (построение пространственного распределения);
- вычислялась относительная погрешность моделирования (%) в точке исключенной метеостанции, как разность фактического и модельного значений, отнесенная к фактическому значению.

Расчеты по вышеуказанной методике выполнялись поочередно для каждой метеостанции и для каждого метода. Относительная погрешность моделирования являлась критерием оценки интерполяционных методов: чем эта величина меньше, тем точность модели выше и, соответственно, интерполяционный метод является наиболее подходящим.

Каждый из рассмотренных методов интерполяции имеет свои внутренние параметры, от которых зависит точность пространственного распределения. Они могут быть установлены как по умолчанию, так и изменены пользователем. Поэтому при выявлении подходящего метода моделирования пространственного распределения исследуемых характеристик нами использовались два подхода: 1) с параметрами, установленными по умолчанию; 2) с подбором оптимальных параметров.

Поскольку вычисленные относительные погрешности по метеостанциям являются дискретными случайными величинами, то для оценки точности моделирования правомерно использование статистических методов. Поэтому для относительных погрешностей моделирования определялись следующие значения описательной статистики: среднее значение, медиана и стандартное отклонение. Уменьшение значений этих характеристик свидетельствует об увеличении точности интерполяционных методов.

Результаты и их обсуждение

При моделировании с параметрами, установленными по умолчанию, выявлено, что по вычисленным значениям описательной статистики наиболее подходящим методом интерполяции по характеристике «дефицит влажности» можно считать метод «Естественная окрестность», а по «температуре воздуха» – «Кригинг», поскольку значения среднего и медианы практически одинаковы, а значение стандартного отклонения минимальное (табл. 1, 2).

Следует отметить, что минимальная относительная погрешность в точках метеостанций соответствует «крайним» метеостанциям: МС Тулпан (0,23%) – по методу «ОВР» (табл. 1) и МС Кизел (0,15 %) – по методу «Естественная окрестность» (табл. 2). Это связано с тем, что на так называемых «псевдометеостанциях» указаны значения именно этих метеостанций.

Моделирование пространственного распределения метеорологических характеристик с оптимальными параметрами состояло из двух этапов:

- выявление этих параметров (для метода «ОВР» – это «Степень» и «Количество входных точек», для «Кригинга» и «Сплайна» – «Количество входных точек»);
- интерполяция по вышеизложенной методике с выявленными оптимальными параметрами.

Таблица 1

Значения относительной погрешности моделирования пространственного распределения дефицита влажности разными интерполяционными методами (с параметрами по умолчанию), %

Метеостанция	Фактическое значение, мб	Интерполяционный метод			
		«Естественная окрестность»	«Кригинг»	«ОВР»	«Сплайн»
Чердынь (Н=208 м)	5,1	14,0	13,6	20,2	13,8
Нырб (Н=172 м)	5,0	12,4	11,9	17,5	28,8
Тулпан (Н=202 м)	4,4	2,20	1,84	0,23	3,68
Соликамск (Н=180 м)	4,9	11,5	11,0	10,2	1,02
Кизел (Н=280 м)	4,6	6,19	4,96	4,96	1,51
Вая (Н=183 м)	3,7	18,6	22,6	17,7	13,1
Красновишерск (Н=153 м)	4,1	5,40	6,54	12,8	22,5
Полудов Камень (Н=533 м)	3,4	28,0	32,9	25,3	27,1
Среднее значение		12,3	13,6	13,6	13,9
Медиана		12,0	11,4	15,2	13,5
Стандартное отклонение		8,3	10,2	8,3	11,3

Примечание: полужирным курсивом выделены минимальные значения относительной погрешности моделирования

Таблица 2

Значения относительной погрешности моделирования пространственного распределения температуры воздуха разными интерполяционными методами (с параметрами по умолчанию), %

Метеостанция	Фактическое значение, °С	Интерполяционный метод			
		«Естественная окрестность»	«Кригинг»	«ОВР»	«Сплайн»
Чердынь (Н=208 м)	5,7	13,2	16,9	24,0	29,5
Нырб (Н=172 м)	4,6	1,09	1,31	3,28	47,9
Тулпан (Н=202 м)	4,1	4,67	4,67	13,0	8,60
Соликамск (Н=180 м)	6,5	6,74	10,3	19,0	12,1
Кизел (Н=280 м)	6,5	0,15	5,38	12,9	5,23
Вая (Н=183 м)	4,1	23,2	15,6	14,9	50,2
Красновишерск (Н=153 м)	5,2	30,6	14,2	35,4	42,9
Полудов Камень (Н=533 м)	3,1	65,5	66,5	68,7	66,5
Среднее значение		18,1	16,9	23,9	32,9
Медиана		9,98	12,3	16,9	36,2
Стандартное отклонение		21,9	20,8	20,4	22,5

Примечание: полужирным курсивом выделены минимальные значения относительной погрешности моделирования

В результате интерполяции методом «ОВР» выявлено, что при постоянном значении параметра «Количество входных точек», равном 12, и увеличении параметра «Степень» на МС Чердынь, Нырб, Красновишерск, Полудов Камень относительная погрешность моделирования увеличивается, а на МС Тулпан, Соликамск, Кизел, Вая – уменьшается (табл. 3, 4).

Это объясняется тем, что метеостанции, для которых характерно увеличение относительной погрешности, располагаются вблизи МС Полудов Камень (рис. 1). Эта метеостанция расположена на высоте 533 м и измеренные на ней метеорологические характеристики существенно отличаются от ближайших МС. Поскольку в методе интерполяции «ОВР» параметр «Степень» отвечает за влияние значения опорной точки на интерполируемое значение в зависимости от расстояния до этой точки, то при увеличении параметра «Степень» измеренное значение на МС Полудов Камень начинает оказывать большее влияние на соседние МС, что приводит к увеличению относительной погрешности моделирования.

Таблица 3

Значения относительной погрешности моделирования пространственного распределения дефицита влажности разными интерполяционными методами (с оптимальными параметрами), %

Метеостанция	Интерполяционный метод			
	«Естественная окрестность»	«Кригинг» (количество точек – 7)	«ОВР» (количество точек – 3, степень – 2)	«Сплайн» (количество точек – 7)
Чердынь (Н=208 м)	14,0	15,0	20,4	13,44
Ныроб (Н=172 м)	12,4	14,1	18,5	28,97
Тулпан (Н=202 м)	2,20	1,61	3,91	3,68
Соликамск (Н=180 м)	11,5	11,4	6,10	1,02
Кизел (Н=280 м)	6,19	6,25	3,88	1,51
Вая (Н=183 м)	18,6	22,6	11,2	12,81
Красновишерск (Н=153 м)	5,40	6,54	13,1	22,76
Полюдов Камень (Н=533 м)	28,0	12,9	25,3	27,06
Среднее значение	12,3	11,3	12,8	13,91
Медиана	12,0	12,2	12,1	13,12
Стандартное отклонение	8,3	6,49	8,04	11,37

Примечание: полужирным курсивом выделены минимальные значения относительной погрешности моделирования

Таблица 4

Значения относительной погрешности моделирования пространственного распределения температуры воздуха разными интерполяционными методами (с оптимальными параметрами), %

Метеостанция	Интерполяционный метод			
	«Естественная окрестность»	«Кригинг» (количество точек – 7)	«ОВР» (количество точек – 3, степень – 2)	«Сплайн» (количество точек – 7)
Чердынь (Н=208 м)	13,2	16,9	26,98	29,98
Ныроб (Н=172 м)	1,09	1,31	4,60	47,92
Тулпан (Н=202 м)	4,67	5,16	0,98	8,60
Соликамск (Н=180 м)	6,74	11,2	9,65	12,10
Кизел (Н=280 м)	0,15	5,54	0,31	5,23
Вая (Н=183 м)	23,2	15,6	4,63	50,00
Красновишерск (Н=153 м)	30,6	14,4	36,73	43,08
Полюдов Камень (Н=533 м)	65,5	66,5	69,06	66,78
Среднее значение	18,1	17,1	19,12	32,96
Медиана	9,98	12,8	7,14	36,53
Стандартное отклонение	21,9	20,7	24,08	22,57

Примечание: полужирным курсивом выделены минимальные значения относительной погрешности моделирования

При увеличении значения «Степень» также увеличиваются значения описательной статистики – среднее значение и медиана (табл. 3, 4). Выполненные расчеты показали, что для характеристики «дефицит влажности» оптимальным значением параметра «Степень» является 0,5, а для «температуры воздуха» – 3.

Следует отметить, что при постоянном значении параметра «Степень», равном 2 (по умолчанию), и изменении параметра «Количество входных точек» на 1, значения относительной погрешности моделирования для всех метеостанций практически не меняются, а по значениям описательной статистики – наблюдается увеличение доли минимальных значений относительных погрешностей моделирования по метеостанциям. В результате выполненных расчетов выявлено оптимальное значение параметра «Количество входных точек», равное 3.

При использовании метода «Кригинг» наименьшие значения описательной статистики (за исключением стандартного отклонения) наблюдались: для «дефицита влажности» при параметре «Количество входных точек», равном 2; для «температуры воздуха» – равном 3. Минимальные значения стандартного отклонения (при близких значениях среднего и медианы) отмечены при

параметре «Количество входных точек», равном 7, поэтому это значение было принято оптимальным.

В результате анализа результатов интерполяции методом «Сплайн» выявлено, что при постоянном значении параметра «Вес», равном 0,1 оптимальное значение параметра «Количество входных точек» равно 7.

Далее выполнено моделирование пространственного распределения исследуемых метеорологических характеристик с оптимальными параметрами для каждого метода (рис. 2, 3) и определены относительные погрешности моделирования (табл. 3, 4).

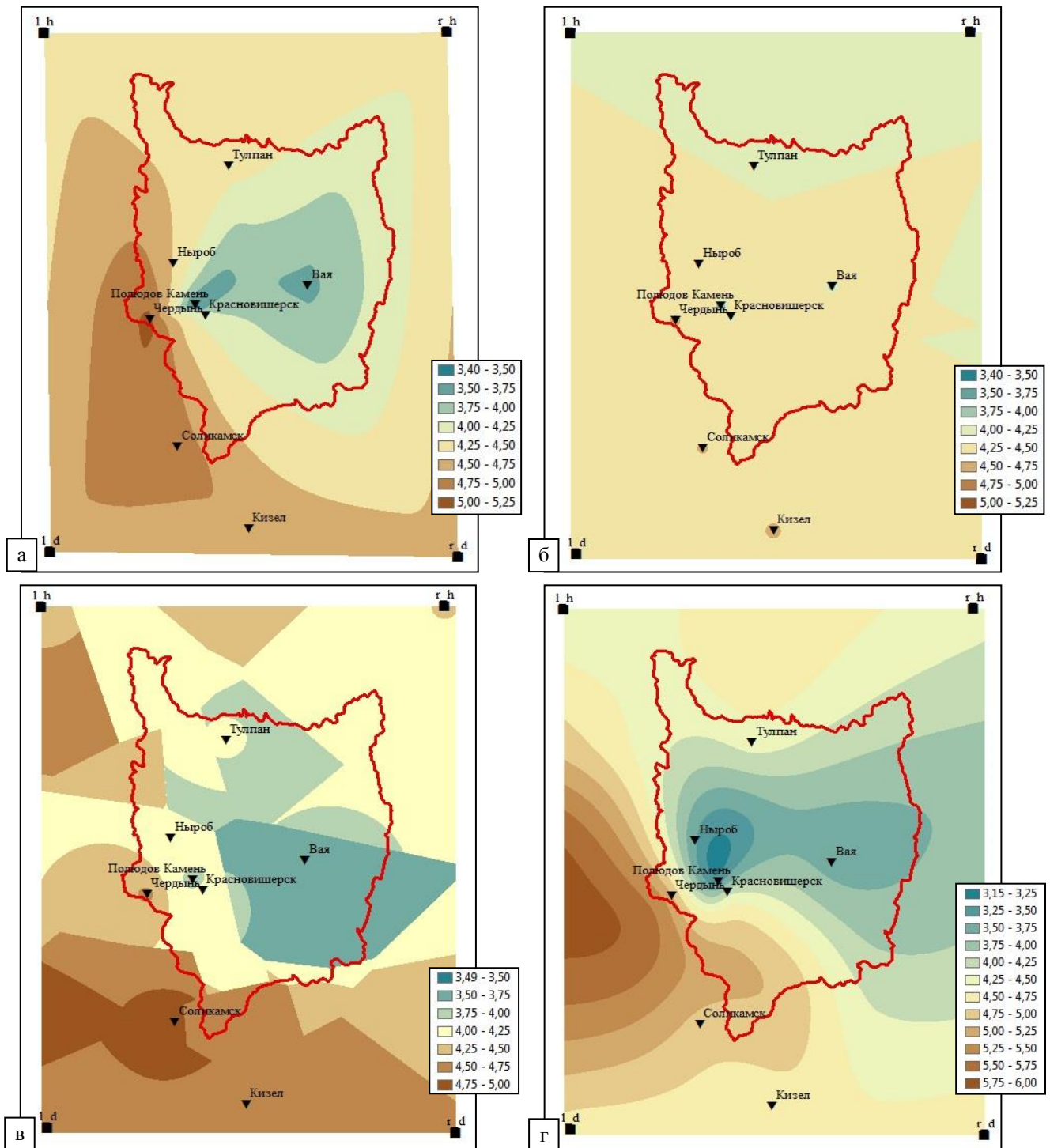


Рис. 2. Результаты моделирования пространственного распределения дефицита влажности: а – метод «Естественная окрестность», б – метод «Кригинг» с оптимальными параметрами, в – метод «ОВР» с оптимальными параметрами, г – метод «Сплайн» с оптимальными параметрами

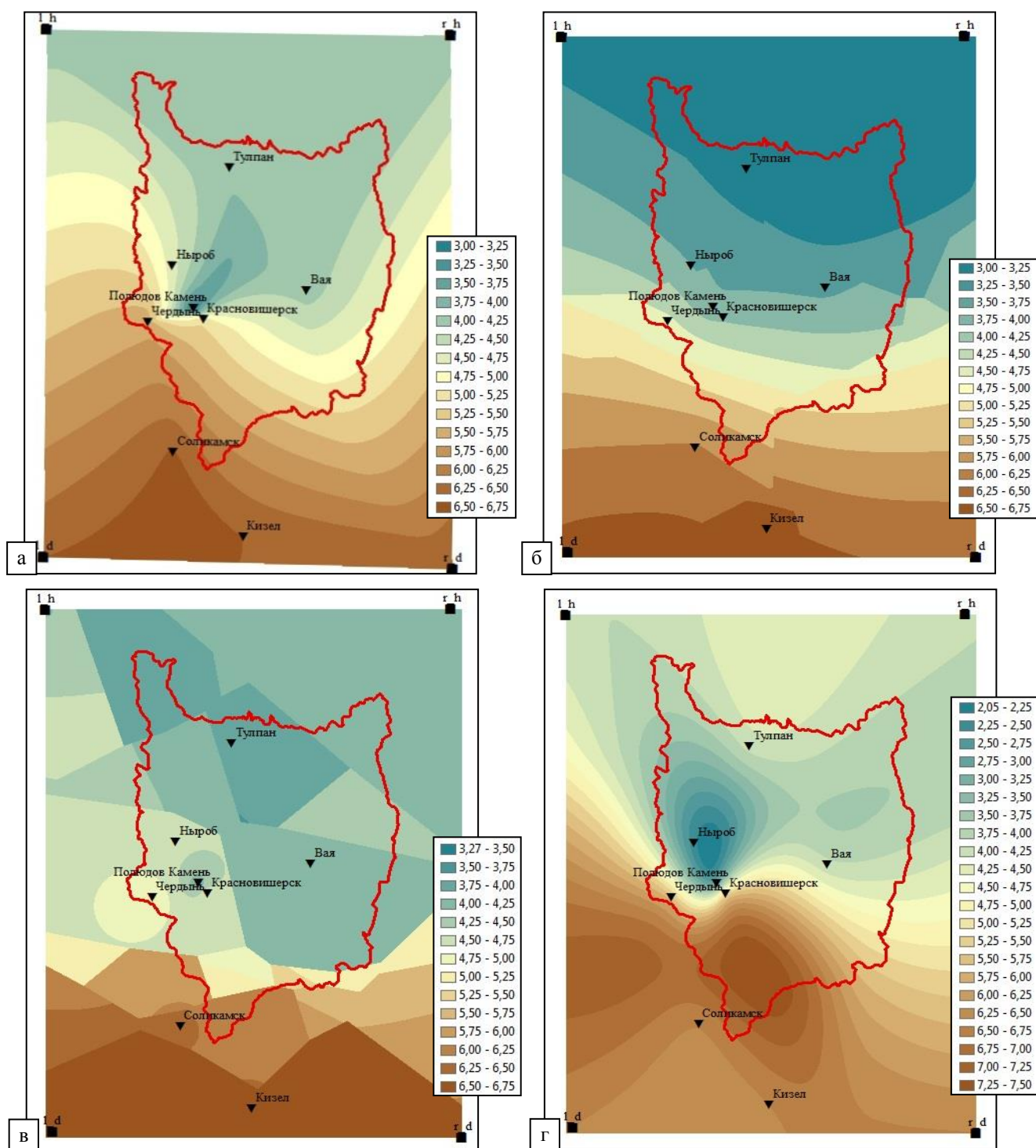


Рис. 3. Результаты моделирования пространственного распределения температуры воздуха: а – метод «Естественная окрестность», б – метод «Кригинг» с оптимальными параметрами, в – метод «ОВР» с оптимальными параметрами, г – метод «Сплайн» с оптимальными параметрами

Как видно из табл. 3 и 4, рассмотренные методы интерполяции по значениям описательной статистики практически не различаются. С целью определения наиболее подходящего метода интерполяции дополнительно вычислены значения описательной статистики (среднее, максимальное и минимальное) как для фактических значений, включая в расчет «псевдометеостанции», так и для интерполируемых значений (по статистике растровой модели). Затем для каждого значения описательной статистики рассчитывалась относительная погрешность моделирования (табл. 5, 6).

Таблица 5

Относительная погрешность моделирования дефицита влажности по значениям описательной статистики для разных интерполяционных методов, %

Метеостанция, исключенная при моделировании	«Естественная окрестность»			«Кригинг» (количество точек – 7)			«ОВР» (количество точек – 3, степень – 2)			«Сплайн» (количество точек – 7)		
	ср.	min	max	ср.	min	max	ср.	min	max	ср.	min	max
Чердынь	-0,71	-0,29	0,00	1,58	-2,65	1,41	2,27	-0,29	0,20	-1,39	0,88	-18,91
Ныроб	-0,52	0,00	0,00	2,45	-2,65	1,58	1,99	-0,29	0,20	-1,89	7,35	-15,81
Тулпан	-0,14	0,00	0,00	2,11	-2,65	1,58	1,44	-0,29	0,00	-3,08	0,88	-35,18
Соликамск	-0,64	0,00	0,00	1,87	-2,65	1,58	1,87	-0,29	0,20	-3,61	0,88	-33,40
Кизел	-0,74	0,00	0,00	1,53	-2,65	1,58	1,75	-0,29	0,00	-3,01	0,88	-33,99
Вая	-0,32	0,00	0,00	0,79	-2,65	1,58	0,57	-0,29	0,20	-4,33	0,88	-32,41
Красновишерск	1,20	0,00	0,00	1,88	-2,94	0,99	1,20	0,00	0,00	-1,04	9,71	-32,02
Полюдов Камень	2,30	0,00	0,00	1,64	-0,82	0,59	0,54	-11,99	5,34	2,52	1,09	-12,85

Таблица 6

Относительная погрешность моделирования температуры воздуха по значениям описательной статистики для разных интерполяционных методов, %

Метеостанция, исключенная при моделировании	«Естественная окрестность»			«Кригинг» (количество точек – 7)			«ОВР» (количество точек – 3, степень – 2)			«Сплайн» (количество точек – 7)		
	ср.	min	max	ср.	min	max	ср.	min	max	ср.	min	max
Чердынь	0,33	-0,33	0,00	3,52	-5,54	0,15	1,92	-32,57	0,31	0,72	10,42	-8,58
Ныроб	1,30	0,00	0,00	4,62	-6,51	0,15	3,06	-32,90	1,99	-0,07	33,22	-14,85
Тулпан	1,78	0,00	0,00	4,68	-6,51	0,15	3,33	-34,20	2,60	-0,16	9,77	-18,07
Соликамск	-1,86	-0,33	0,00	3,61	-6,51	0,00	0,77	-32,25	1,38	-7,12	9,77	-17,85
Кизел	-2,82	-0,33	0,00	2,65	-6,51	0,31	0,63	-32,90	3,06	-6,26	9,77	-18,68
Вая	-0,79	-0,33	0,00	3,67	-6,51	0,15	1,92	-33,22	1,23	-12,04	9,45	-17,15
Красновишерск	0,97	0,00	0,00	4,33	-4,23	0,15	2,75	-32,25	1,53	-1,60	9,45	-15,93
Полюдов Камень	3,14	0,00	0,00	2,95	0,00	0,15	3,90	3,44	-1,38	4,86	6,14	-3,83

Из табл. 5 и 6 видно, что в методе «Естественная окрестность» интерполирование выполняется в пределах диапазона опорных точек (относительная погрешность моделирования равна нулю). Для остальных методов характерны искажения интерполяции на границах («ОВР», «Кригинг») и наличие «псевдопонижений» и «псевдовозвышенностей» («Сплайн»), что подтверждается значениями относительных погрешностей минимума и максимума.

Выводы

1. Наиболее подходящим интерполяционным методом пространственного распределения исследуемых метеорологических характеристик (дефицита влажности и температуры воздуха) является метод «Естественная окрестность».

2. Достоинства этого метода следующие:

– моделирование осуществляется в диапазоне значений используемых опорных точек, и, следовательно, отсутствуют значительные «псевдопонижения» и «псевдовозвышенности» по сравнению с методом «Сплайн»;

отсутствуют резкие переходы между интерполируемыми значениями по сравнению с методами «ОВР» и «Кригинг» с заданными параметрами;

при наличии резко отличающихся значений в опорных точках интерполирование по этому методу выполняется с минимальной относительной погрешностью моделирования;

применение метода не требует дополнительного подбора оптимальных параметров.

3. Особенности рельефа в окрестности МС оказывают более существенное влияние на точность интерполяции, чем тот или иной метод интерполяции, что подтверждается близкими между собой значениями относительных погрешностей моделирования каждого метода по МС Полюдов Камень. Эта метеостанция расположена на высоте 533 м абс. и измеренные на ней метеорологические характеристики существенно отличаются от ближайших МС. Следует также отметить, что очень редкая сеть метеостанций в горной части не позволяет достоверно оценить вероятные относительные погрешности моделирования пространственного распределения исследуемых метеорологических характеристик.

Библиографический список

1. Калинин В.Г., Микова К.Д., Трифонова Е.В., Русаков В.С., Русаков Л.С. Усовершенствование метода расчета снеготаяния с применением ГИС-технологий // Проблемы географии Урала и сопредельных территорий. Челябинск, 2010. С. 62–66.
2. Метеорологический ежемесячник 1978. Ч. 2. Вып. 9. №1–12. Новосибирск: Уральское управление Гидрометеорологической службы, 1978.
3. Пьянков С.В., Калинин В.Г. Гидрография. Создание цифровых моделей рельефа для определения гидрографических характеристик рек и их водосборов / Перм. гос. нац. иссл. ун-т. Ч. I. Пермь, 2014. 63 с.
4. Пьянков С.В., Шихов А.Н. Исследование динамики процессов снеготаяния методами геоинформационного моделирования (на примере территории Пермского края) // Вестник Удмуртского университета. Сер. 6. Биология. Науки о Земле. 2013. Вып. 4. С. 123–131.
5. Суманеева К.И. Оценка точности результатов моделирования пространственного распределения снежного покрова при изменении размера ячейки раstra // Вопросы гидрологии, геоэкологии и охраны водных объектов, Пермь, 2014. С 106–109.
6. Шутов В.А. Интерполяция и расчет снеготаяния в речных бассейнах с учетом рельефа местности // Метеорология и гидрология. 1996. №10. С. 67–74.
7. Яковченко С.Г. Создание геоинформационных систем в инженерной гидрологии: дис. ... д-ра техн. наук. Барнаул, 2007. 406 с.
8. Esri – GIS Mapping Software, Solutions, Services, Map Apps, and Data. [Электронный ресурс] URL: <http://www.esri.com> (дата обращения: 28.12.2016).

References

1. Kalinin, V.G., Mikova, K.D., Trifonova, E.V., Rusakov, V.S. and Rusakov, L.S. (2010), *Usovershenstvovanie metoda rascheta snegotayaniya s primeneniem GIS_tehnologii* [Improving the method of calculation of snowmelt using GIS-technologies], Chelyabinsk, Russia.
2. *Meteorologicheskii ejemesyachnik 1978* [Meteorological monthly 1978], Uralskoe upravlenie Gidrometeorologicheskoi slujbi, Novosibirsk, Russia.
3. P'yankov, S.V. and Kalinin, V.G. (2014), *Hidrografiya. Sozdanie cifrovih modelei relefa dlya opredeleniya gidrograficheskikh harakteristik rek i ih vodosborov* [Creation of digital terrain models to determine the hydrographic characteristics of rivers and their watersheds], Perm State University, Perm, Russia.
4. P'yankov, S.V. and Shikhov, A.N. (2013), *Issledovanie dinamiki processov snegotayaniya metodami geoinformacionnogo modelirovaniya (na primere territorii Permskogo kraya)* [The study of the dynamics of snow melting processes using the methods of geoinformation modeling (for example, the territory of the Perm region)], Udmurt State University, Izhevsk, Russia.
5. Sumaneeva, K.I. (2014), *Ocenka tochnosti rezultatov modelirovaniya prostranstvennogo raspredeleniya snejnogo pokrova pri izmenenii razmera yacheiki rastra* [Evaluation of the accuracy of the modelling results the spatial distribution of snow cover when changing the cell size of the raster], Perm State University, Perm, Russia.
6. Shutov, V.A. (1996), "Interpolation and calculation of snowfalls in river basins taking into account the terrain", *Meteorologiya i Gidrologiya*, no. 10, pp. 67–74.

7. Yakovchenko, S.G. (2007), "Creation of geoinformation systems in engineering hydrology", Abstract of Ph. D. dissertation, Geoinformatics, Institute for Water and Environmental Problems of the Siberian Branch of the RAS, Barnaul, Russia.

8. Esri – GIS Mapping Software, Solutions, Services, Map Apps, and Data (2016), available at: <http://www.esri.com> (Accessed 28 December 2016).

Поступила в редакцию: 20.02.2017

Сведения об авторах

Калинин Виталий Германович

доктор географических наук, профессор кафедры картографии и геоинформатики Пермского государственного национального исследовательского университета; Россия, 614990, г. Пермь, ул. Букирева, 15; e-mail: vgkalinin@gmail.com

Суманеева Ксения Игоревна

специалист отдела водных ресурсов Министерства природных ресурсов, лесного хозяйства и экологии Пермского края; Россия, 614000, г. Пермь, ул. Ленина, 51; e-mail: ksusumaneeva@mail.ru

Русаков Василий Сергеевич

старший преподаватель кафедры информационных систем и математических методов в экономике Пермского государственного национального исследовательского университета; Россия, 614990, г. Пермь, ул. Букирева, 15; e-mail: rusakov_vas@mail.ru

About the authors

Vitaliy G. Kalinin

Doctor of Geographical Sciences, Professor of Cartography and Geoinformatic Department, Perm State University; 15, Bukireva st., Perm, 614990, Russia; e-mail: vgkalinin@gmail.com

Ksenya I. Sumaneeva

Specialist of Water Recourses Department, Ministry of Nature Recourses, Forestry and Ecology, Perm Krai; 51, Lenina st., Perm, 614000, Russia; e-mail: ksusumaneeva@mail.ru

Vasiliy S. Rusakov

Senior Lecturer, Department of Information Systems and Mathematical Methods in Economics, Perm State University; 15, Bukireva st., Perm, 614990, Russia; e-mail: rusakov_vas@mail.ru

Просьба ссылаться на эту статью в русскоязычных источниках следующим образом:

Калинин В.Г., Суманеева К.И., Русаков В.С. Анализ методов интерполяции пространственного распределения метеорологических характеристик при расчетах весеннего снеготаяния // Географический вестник = Geographical bulletin. 2017. №2(41). С.126–137. doi 10.17072/2079-7877-2017-2-126-137

Please cite this article in English as:

Kalinin V.G., Sumaneeva K.I., Rusakov V.S. Interpolation of meteorological characteristics spatial distribution for spring snowmelt: analysis of methods // Geographical bulletin. 2017. № 2(41). P. 126–137. doi 10.17072/2079-7877-2017-2-126-137

УДК 912.43

Е.С. Черепанова, Е.С. Киселева, С.И. Перминов, А.В. Тарасов
МАТЕМАТИКО-КАРТОГРАФИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ В СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКОМ КАРТОГРАФИРОВАНИИ: ОСОБЕННОСТИ ВИЗУАЛИЗАЦИИ ДАННЫХ

Пермский государственный национальный исследовательский университет, г. Пермь

Визуализация информации о пространственно-распределенных социально-экономических объектах и явлениях является крайне актуальной и востребованной – это своего рода индикатор