

УДК 528.942:556.3 (470.58)

DOI 10.33764/2411-1759-2023-28-5-67-79

Применение методов пространственного анализа для определения средней минерализации подземных вод Курганской области

И. П. Кокорина¹, Г. П. Мартынов², С. Ю. Кацко^{2}, М. А. Карасюк²*

¹ Институт систематики и экологии животных СО РАН, г. Новосибирск,
Российская Федерация

² Сибирский государственный университет геосистем и технологий, г. Новосибирск,
Российская Федерация

*e-mail: s.katsko@ssga.ru

Аннотация. В Курганской области наблюдается дефицит водных ресурсов и остро стоит проблема водоснабжения, особенно в сельских населенных пунктах. Такая ситуация ведет к росту заболеваемости, связанной с водным фактором, и может привести к усилению миграции из региона. Цель работы – выявить зависимость между уровнем минерализации подземных вод, используемых для питьевого водоснабжения сельских населенных пунктов области, и заболеваемостью населения. В результате исследования создана карта средней минерализации первого от поверхности водоносного комплекса Курганской области. Выполнен пространственный анализ, который показал долю площадей с различной степенью минерализации в пределах области. Выявлена корреляция между средней минерализацией подземных вод и заболеваемостью сельского населения области.

Ключевые слова: геоинформационное картографирование, минерализация подземных вод, заболеваемость населения, интерполяция, поверхность, корреляция, сельские населенные пункты

Введение

Подземные воды являются важным источником водоснабжения для многих регионов России. Они обеспечивают пресной водой различные сферы жизни человека, включая сельское хозяйство и промышленность. Однако минерализация подземных вод может быть повышена, что имеет серьезные последствия для здоровья населения.

Исследования свидетельствуют о проблемах, связанных с водоснабжением и доступом к чистой питьевой воде. Многие населенные пункты в России сталкиваются с проблемами, такими как ограниченный доступ к качественной питьевой воде. Значимой проблемой также является связь между высокой минерализацией подземных вод и заболеваемостью населения [1].

Целью данной статьи является рассмотрение возможностей применения методов пространственного анализа для определения средней минерализации подземных вод. Пространственный анализ представляет собой мощный инструмент для изучения географического распределения подземных вод. Он

позволяет исследовать пространственные корреляции между различными факторами.

Влияние водного фактора следует учитывать при изучении патогенетически разных форм заболеваний. В литературе имеется ряд данных о влиянии воды различного минерального состава на физиологические системы организма. Механизм действия питьевых вод не всегда ясен, но это действие многообразно и даже иногда представляет опасность для здоровья человека [2].

Примером может являться ситуация в Курганской области. В области остро стоит проблема водоснабжения, особенно в сельских населенных пунктах [3]. Основным требованием к системе водоснабжения является подача воды необходимого количества и качества. Что зависит от двух факторов: наличия водных ресурсов и развития системы водоснабжения. В области наблюдается дефицит водных ресурсов, наряду с этим происходит разрушение сложившейся системы водоснабжения.

Следствием воздействия этих двух факторов является недостаток воды на хозяйственно-питьевое водоснабжение, а также ее

плохое качество (норма для сельских населенных пунктов варьируется от 15–20 до 75–100 л/сутки на человека). Такая ситуация ведет к обострению санитарно-эпидемиологической обстановки в области и может привести к росту заболеваемости, связанной с водным фактором [4].

Материалы и методы исследования

Геологическое картографирование представляет собой научно-методическую геологическую дисциплину. Оно исследует и использует различные способы выявления и изображения геологического строения местности. В России данный вид работ носит централизованный характер и проводится на основе общепринятых инструкций и методик [5, 6].

Учитывая современный уровень развития геоинформационных технологий, процесс создания карт не обходится без геоинформационных систем и иных специализированных компьютерных методов [7].

Сегодня в России ведется составление более 40 типов карт различного геологического содержания, в том числе гидрогеологических. Гидрогеологические карты показывают распределение подземных вод, их характеристики и количественные показатели [8, 9].

Рассмотрим объекты картографирования – подземные воды.

Территория Курганской области находится в пределах Урало-Монгольского геосинклинального складчатого пояса, который в России является единственным поясом, полностью завершившим геосинклинальное развитие в начале мезозоя. В южных и восточных районах пояса в неоген-четвертичное время проявились орогенные процессы. В пределах пояса расположена Западно-Сибирская плита с мезозойско-кайнозойским чехлом – поле развития юрско-неогеновых отложений в пределах Западно-Сибирской низменности [10].

Согласно гидрогеологическому районированию России, территория Курганской области расположена на площади развития Нижневартовско-Петропавловской подпровинции Западно-Сибирской провинции сложного

бассейна пластовых вод. Западная часть входит в состав Западно-Тобольского бассейна Восточно-Предуральской группы бассейнов пластовых вод; восточнее реки Тобол развиты Восточно-Тобольский и Петуховский бассейны Ишимской группы бассейнов пластовых вод. Граница между ними проходит по линии поверхностного водораздела рек Тобол и Ишим.

По характеру взаимодействия и гидрохимическим показателям в вертикальном разрезе слоистой системы отмеченных бассейнов стока пластовых вод выделяют три гидродинамические зоны: активного, затрудненного и весьма затрудненного водообмена.

В верхнюю зону активного водообмена входят континентальные и морские водоносные отложения палеоцена – нижнего эоцена, в том числе водоносный комплекс аллювиальных отложений долин рек Тобол, Исеть, Миасс, их притоков, а также аллювиальные отложения древних речных долин, образующие единый водоносный комплекс с отложениями олигоцена. Уровень подземных вод находится на глубинах 0,5–3,5 м, на более высоких участках – до 10 м. Спорадические водоносные горизонты и комплексы неогена и четвертичных покровных отложений могут входить в состав первого от поверхности водоносного комплекса, являясь покровным для него. В среднюю зону затрудненного водообмена входят водоносные горизонты и комплексы мелового возраста. В нижнюю зону весьма затрудненного водообмена – водоносные комплексы приповерхностной части фундамента и юрских отложений.

Водоносные горизонты и комплексы средней и нижней гидродинамических зон погружаются в восточном направлении и залегают на глубине от 100 м на западе и до 250 м и более – в восточной части области. Они содержат минерализованные воды и не представляют практического интереса для целей хозяйственно-питьевого водоснабжения. Исключение составляет водоносный горизонт верхнемеловых отложений средней зоны, который в крайней западной части Катайского района выходит на дневную поверхность, содержит пресные воды и служит источником хозяйственно-питьевого водоснабжения населения.

Химический состав подземных вод, извлекаемых из недр для хозяйственно-питьевых целей, формируется под влиянием природного и антропогенного факторов. К природным факторам относятся физико-географические, геолого-гидрогеологические и физико-химические факторы. Минерализация подземных вод четвертичных аллювиальных отложений изменяется в широких пределах от 0,4 до 13 г/л с преимущественным развитием вод с минерализацией до 1,5 г/л. Воды с такой минерализацией характерны для долин рек Исеть, Миасс, где они занимают 85–90 % от общей площади развития аллювиального комплекса. В долине р. Тобол для аллювиального комплекса характерно большое развитие солоноватых и соленых вод (до 60 % общей площади).

Под минерализацией подразумевается одна из следующих величин: экспериментально определенный сухой (плотный) остаток; сумма ионов; сумма минеральных веществ; вычисленный сухой остаток. Сумма минеральных веществ – более полное выражение минерализации воды, так как она учитывает и недиссоциированные неорганические вещества.

По химическому составу пресные воды (до 1 г/л) имеют преимущественно гидрокарбонатный натриево-кальциевый состав; для слабосоленых вод (1,0–1,5 г/л) – гидрокарбонатный натриевый состав; для вод 1,5–3 г/л и более – гидрокарбонатно-сульфатный и хлоридный натриево-магниевый состав [11].

По распределению минерализации подземных вод в этом горизонте территория области условно делится на два района, границей между которыми является долина р. Тобол. Западный район содержит подземные воды с минерализацией до 1,5 г/л. Подземные воды восточного района – солоноватые и соленые, с минерализацией более 1,5 г/л (до 10 г/л). Химический состав подземных вод палеоцен-нижнеэоценового горизонта определяется относительной выдержанностью и закономерным изменением по площади, отражая условия их циркуляции и водообмена. Закономерное увеличение к востоку минерализации и изменение химического состава связано с ослаблением питания и общим

затуханием гидродинамической активности. По направлению к востоку гидрокарбонатно-сульфатные воды сменяются солоноватыми хлоридно-гидрокарбонатными и гидрокарбонатно-хлоридными водами. Сплошное распространение соленых вод с минерализацией более 3 г/л отмечено в восточных районах Зауралья. В долинах граница проходит по р. Тобол, а на водораздельных пространствах эта граница смещается к западу, достигая меридиана г. Шадринска, а в южной части бассейна – еще западнее до с. Сафакулево. Суммарные площади распространения линз пресных вод увеличиваются с востока на запад и с юга на север [12].

Кроме региональной изменчивости качества подземных вод, для палеоцен-нижнеэоценового водоносного горизонта отчетливо проявляется вертикальная гидрохимическая зональность, выражающаяся в увеличении минерализации с глубиной [13].

Все воды принадлежат к трем основным классам – хлоридным, сульфатным и содовым. Минерализованная питьевая вода может оказывать неблагоприятное воздействие на важнейшие функции организма. При величине сухого остатка 1 000 мг/л вода считается пресной и не оказывает заметного влияния на организм [14].

Качество воды определяется ее физическими, химическими свойствами, а также санитарно-бактериальным состоянием. Состояние водных ресурсов определяет возможности развития существующих и создание новых населенных мест, сельскохозяйственного освоения новых территорий. Эти процессы влияют на условия жизни и здоровье населения, определяя изменения и характер занятости, миграционные процессы, пищевую обеспеченность, состояние окружающей среды [15].

Воды различного минерального состава влияют на сердечно-сосудистую, пищеварительную, мочевыводящую и другие физиологические системы организма. Подобное состояние вопроса объясняется многообразием минерального состава питьевых вод, в которых встречаются разные количественные соотношения ионов, и тем, что значительное количество минеральных солей организм человека получает с пищевыми продуктами.

Основными источниками для представленного исследования послужили опубликованные данные о состоянии геологической среды, об использовании водных ресурсов, о состоянии водоснабжения и качестве питьевой воды, а также о работе учреждений здравоохранения на территории Курганской области и города Кургана [16–19].

Результаты и обсуждение

Для создания основы карты общей минерализации первого от поверхности водоносного комплекса Курганской области была составлена общегеографическая карта (рис. 1).

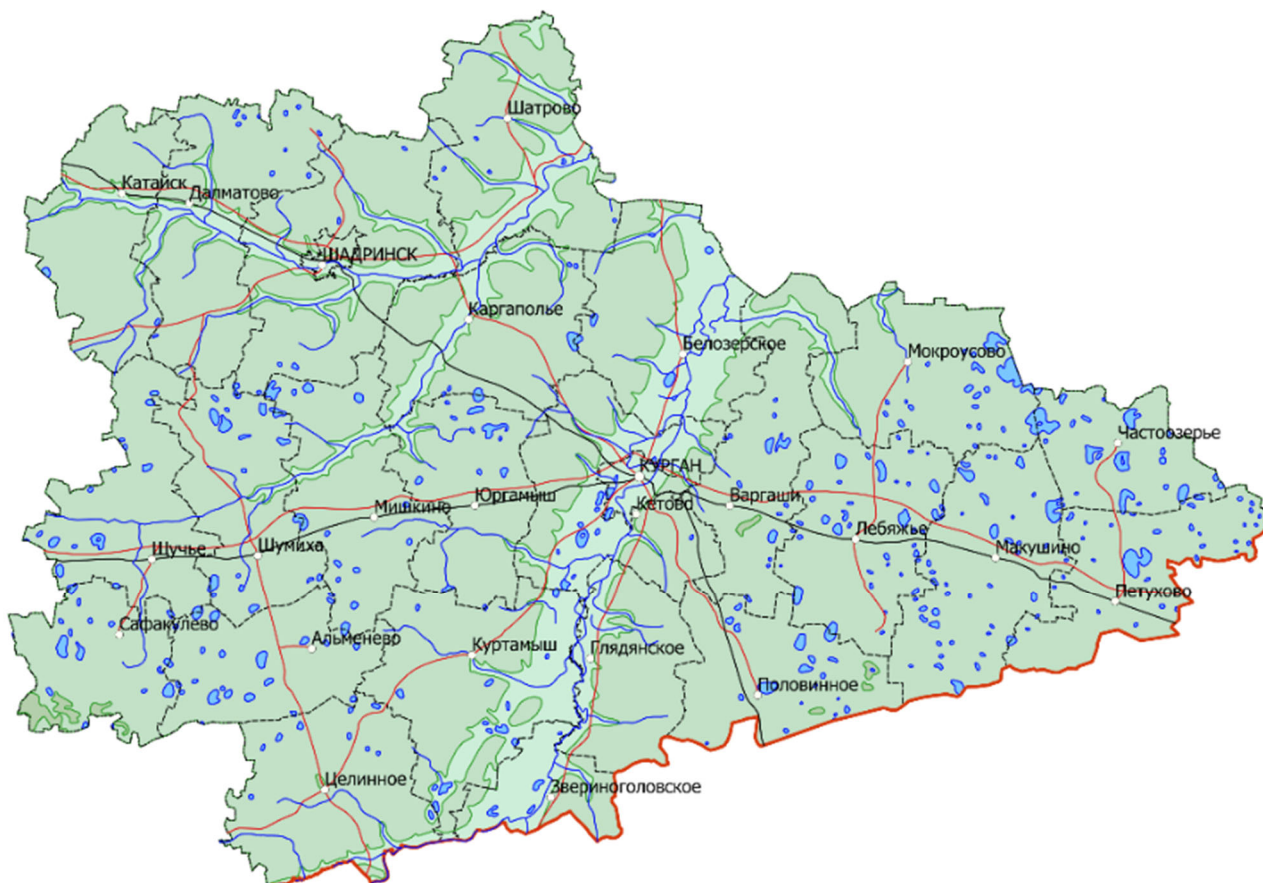


Рис. 1. Курганская область

Для картографирования были использованы следующие исходные материалы:

- файлы формата Shape сервиса OpenStreetMap;
- административная карта области;
- статистические данные.

Карта выполнена в системе координат WGS84 проекция Меркатора в масштабе 1 : 1 000 000 и содержит следующие слои: гидрография линейная; гидрография площадная; населенные пункты; автомобильные дороги; железные дороги; границы административных районов; граница Курганской области; государственная граница РФ; рельеф.

Для создания карты общей минерализации первого от поверхности водоносного комплекса Курганской области (рис. 2) были использованы следующие исходные материалы:

- атлас гидрогеологических карт первого от поверхности водоносного комплекса по территории Курганской области в масштабе 1 : 200 000 [20];
- составленная общегеографическая основа (см. рис. 1).

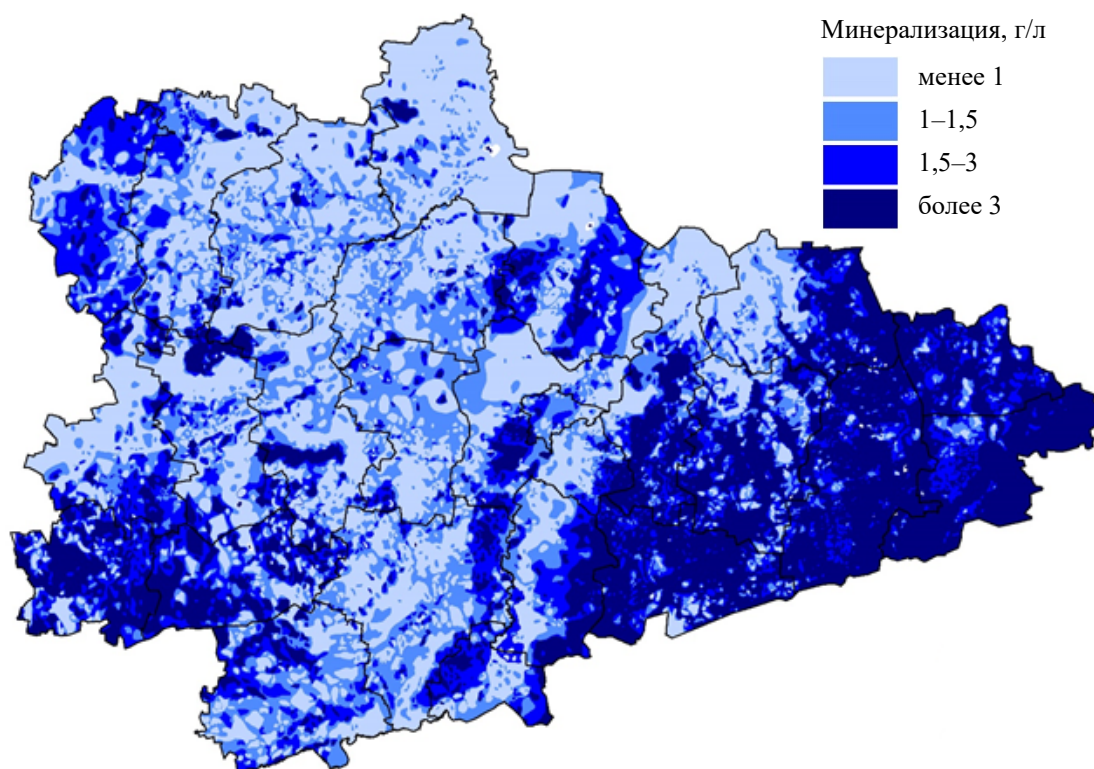


Рис. 2. Карта общей минерализации первого от поверхности водоносного комплекса Курганской области

Элементы тематического содержания: территории по показателю общей минерализации подземных вод, способ картографирования – количественный фон, шкала послышной окраски синего цвета, по мере нарастания значения показателя окраска интенсивнее.

На следующем этапе была проведена интерполяция значений минерализации подземных вод и построены поверхности в ГИС ArcGIS с использованием модулей Spatial Analyst, 3D Analyst.

Интерполяция – это процесс прогнозирования значений для тех местоположений, где нет измеренных значений, с использованием достоверных величин, полученных для других точек. При проведении линейной, или математической интерполяции предполагают, что между двумя соседними точками явление изменяется равномерно [21].

При интерполяции методом сплайн рассчитываются значения с использованием математической функции, которая строит сглаженную поверхность, проходящую точно через исходные опорные точки. Этот метод локальной интерполяции применяется для глад-

ких поверхностей и не пригоден для поверхностей с отчетливо выраженными изменениями.

Метод обратных взвешенных расстояний (ОВР – IDW) подходит для рассеянных по территории данных, которые не влияют на соседние данные и не имеют внутренних связей. Вычисляет значения в ячейках поверхности, которые покрывают прямоугольной сеткой всю картографируемую территорию. Влияние картографируемой переменной уменьшается с увеличением расстояния от опорной точки [22].

Применение геостатистического метода кригинг базируется на статистических моделях, которые учитывают пространственную автокорреляцию. Основу его составляет определение закономерностей изменения (дисперсии) между точками и подчеркивание существенных различий в значениях данных, используя весовые коэффициенты. Метод включает две задачи: установить вариографию и построить поверхность, используя значения вариограмм и известных измерений в отдельных точках [23, 24].

Триангуляция Делоне представляет собой треугольную полигональную сеть, образуемую на множестве точечных объектов путем их соединения непересекающимися отрезками. TIN – это линейная нерегулярная сеть, система неравносторонних треугольников. Исходными данными для построения TIN является набор точек с координатами X, Y, Z . Топологические отношения создаются путем создания в базе данных для каждого узла указания на смежные узлы. Преимуществом модели является то, что в ней нет преобразований исходных данных [25].

Недостатком регулярной сети является громоздкость представления данных. Приходится выбирать между размером ячейки и размером территории. В триангуляционной модели качество аппроксимации поверхности выше, чем в регулярной. Но при этом возрастает сложность обрабатываемых алгоритмов.

В созданной карте минерализации подземных вод содержатся полигоны разной площади. Для построения поверхности сначала необходимо найти узлы интерполяции (точки). Нахождение центроидов полигонов (первый способ) не оптимально, так как получается по одной точке на полигон, что недостаточно для поставленных задач. Поэтому принято решение выбрать один из двух других методов: случайно расположенные точки; точки в виде сети (регулярные точки).

При случайном распределении точек по полигонам (второй способ) задается одинаковое количество точек для всех полигонов. При этом выбранное количество точек для малых по площади полигонов излишне, а для полигонов с большей площадью – недостаточно, поэтому возникают участки без точек.

Был выбран третий способ – создание регулярной сети точек.

При построении интерполяционной поверхности использовались методы [26–28] сплайн, ОВР, кригинг и TIN для выбора метода с наименьшими погрешностями.

Для получения наиболее четкого изображения контуров использовался метод [29] последовательного сжатия (уменьшения) шага сети интерполяции:

- для сети точек с шагом 10 км – 2 219 точек;
- для сети точек с шагом 5 км – 8 862 точки;
- для сети точек с шагом 2,5 км – 35 439 точек;
- для сети точек с шагом 1 км – 221 510 точек;
- для сети точек с шагом 0,5 км – 886 130 точек;
- для сети точек с шагом 0,25 км – 3 544 447 точек.

На рисунках 3–8 представлены результаты интерполяции – поверхности, построенные на основе регулярной сети точек.

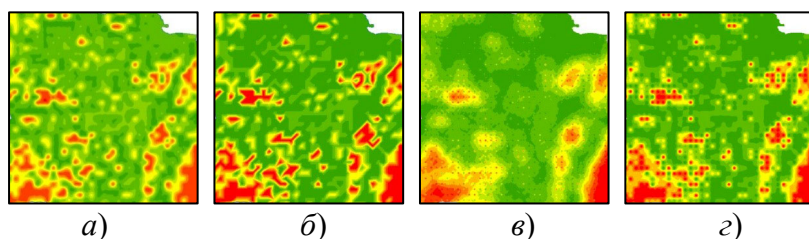


Рис. 3. Поверхности, построенные на основе сети точек с шагом 10 км:
а) сплайн; б) TIN; в) кригинг; г) ОВР

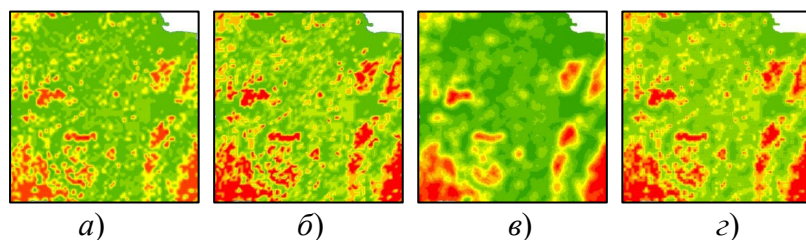


Рис. 4. Поверхности, построенные на основе сети точек с шагом 5 км:
а) сплайн; б) TIN; в) кригинг; г) ОВР

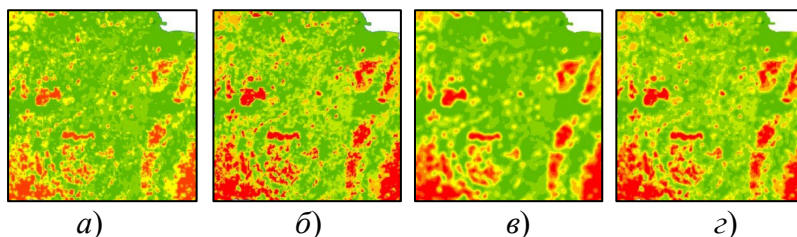


Рис. 5. Поверхности, построенные на основе сети точек с шагом 2,5 км:

а) сплайн; б) TIN; в) кригинг; г) ОВР

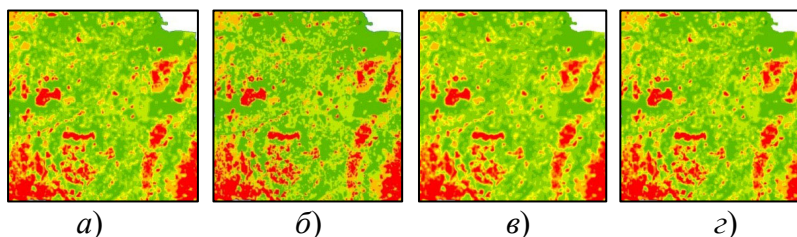


Рис. 6. Поверхности, построенные на основе сети точек с шагом 1 км:

а) сплайн; б) TIN; в) кригинг; г) ОВР

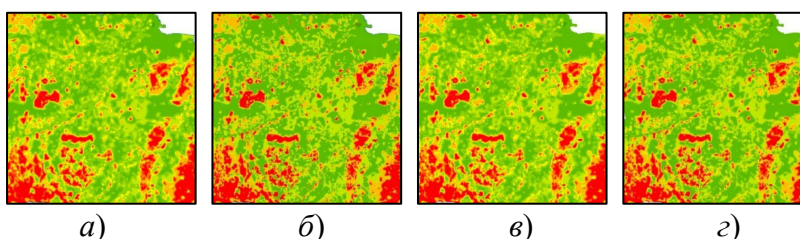


Рис. 7. Поверхности, построенные на основе сети точек с шагом 0,5 км:

а) сплайн; б) TIN; в) кригинг; г) ОВР

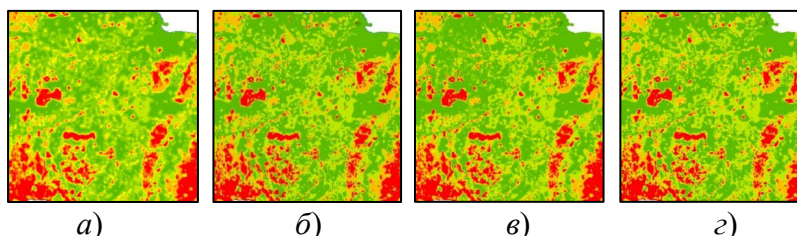


Рис. 8. Поверхности, построенные на основе сети точек с шагом 0,25 км:

а) сплайн; б) TIN; в) кригинг; г) ОВР

Уменьшение шага регулярной сети точек, на основе которой происходит интерполяция, увеличивает детализацию поверхности. При шаге сети 0,25 км получено наиболее четкое изображение.

Для оценки точности построения интерполяционной поверхности используется формула расчета общей относительной ошибки интерполяции по площадям

10

$$\Delta_{\text{общ}} = \left| \frac{S - \bar{S}}{S} \right| \cdot 100 \%$$

и формула расчета средневзвешенной относительной ошибки перераспределения площадей по полигонам

$$\Delta_{\text{срвзвеш}} = \frac{1}{S} (\delta_1 \cdot \overline{S}_1 + \delta_2 \cdot \overline{S}_2 + \delta_3 \cdot \overline{S}_3 + \delta_4 \cdot \overline{S}_4) \cdot 100 \%,$$

где S – сумма всех площадей полигонов минерализации в векторной карте; \overline{S} – сумма всех площадей полигонов минерализации в интерполяционной модели [30].

В нашем случае

$$S = S_1 + S_2 + S_3 + S_4 = 71\,249 \text{ км}^2, \text{ а } \overline{S} = \overline{S}_1 + \overline{S}_2 + \overline{S}_3 + \overline{S}_4 = 71\,549 \text{ км}^2, \Delta_{\text{общ}} = 0,42 \%.$$

Рассмотрим случайную величину X – уровень минерализации подземных вод территории Курганской области. При расчете средних величин этой случайной величины по четырем полигонам получены следующие значения:

- 1) первый полигон площадью $S_1 = 23\,949 \text{ км}^2$ представлен величиной средней минерализации $x_1 = 0,75 \text{ г/л}$;
- 2) второй полигон площадью $S_2 = 16\,007 \text{ км}^2$ представлен величиной средней минерализации $x_2 = 1,25 \text{ г/л}$;
- 3) третий полигон площадью $S_3 = 13\,170 \text{ км}^2$ представлен величиной средней минерализации $x_3 = 2,25 \text{ г/л}$;
- 4) четвертый полигон площадью $S_4 = 18\,123 \text{ км}^2$ представлен величиной средней минерализации $x_4 = 3,5 \text{ г/л}$.

В результате имеем следующее распределение усредненной дискретной случайной величины (таблица).

Распределение усредненной дискретной случайной величины

Средняя минерализация (x_i)	0,75	1,25	2,25	3,5
Площадь полигона (S_i)	23 949	16 007	13 170	18 123

Далее рассчитаны общая относительная ошибка и средневзвешенная относительная ошибка для каждой поверхности, построенной на основе регулярной сети точек с шагом 0,25 км по каждому из методов интерполяции.

Лучше всего себя показали методы ОВР с общей относительной ошибкой 0,18 %,

средневзвешенной относительной ошибкой 1,15 %, TIN с общей относительной ошибкой 0,19 % и средневзвешенной относительной ошибкой 1,48 %.

На рис. 9, 10 приведены динамика численности населения Курганской области и динамика численности населения на диспансерном учете [31].

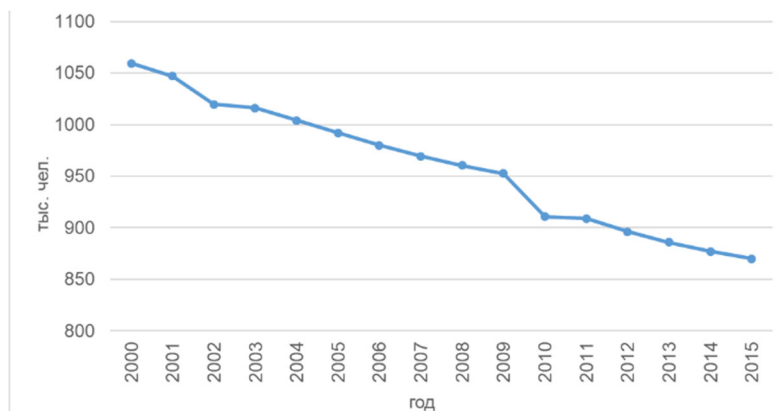


Рис. 9. Динамика численности населения Курганской области

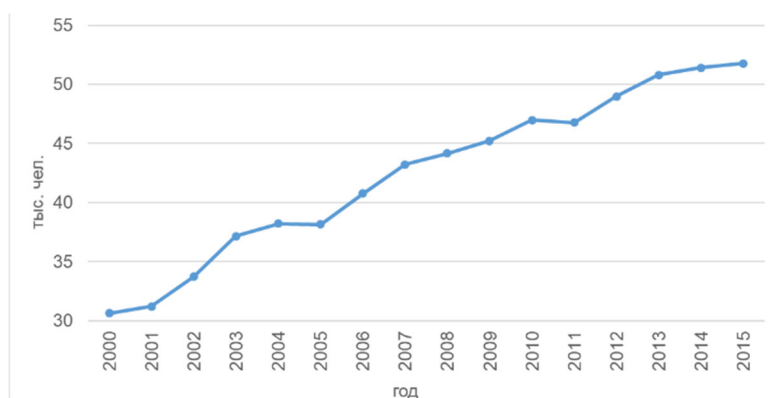


Рис. 10. Динамика численности сельского населения, состоящего на диспансерном учете

В период с 2000 по 2015 гг. происходит постоянное снижение численности населения Курганской области (см. рис. 9) при постепенном повышении численности населения на диспансерном учете (см. рис. 10).

Далее была выдвинута гипотеза о зависимости уровня заболеваемости (фактор Y) сельского населения от уровня минерализации подземных вод (фактор X) региона их проживания.

Были получены данные, подтверждающие слабую зависимость фактора Y от фактора X с коэффициентом корреляции 0,206 между факторами Y и X (то есть между уровнем заболеваемости гипертонией и уровнем минерализации питьевой воды региона проживания).

Так, например, средний уровень заболевших гипертонией на территориях с преобладающей средней минерализацией 3,5 г/л на 12,6 % больше, чем на территориях с преобладающей средней минерализацией 0,75 г/л.

Все это говорит о том, что условия жизни и работы не устраивают местное население области, а это недовольство проявляется в довольно высокой миграции из Курганской области в другие регионы.

Заключение

Основным результатом настоящего исследования является карта общей минерализации первого от поверхности водоносного комплекса Курганской области. На ее основе рассчитаны средние показатели минерализации

подземных вод по административным районам области, а также определена доля площадей с различной степенью минерализации.

Решены следующие задачи:

- проанализированы результаты исследований минерализации подземных вод и взаимосвязей минерализации и заболеваемости сельского населения;

- выполнено геоинформационное картографирование первого от поверхности водоносного комплекса Курганской области;

- проведен пространственный анализ полигонов подземных вод и получены показатели средней минерализации первого от поверхности водоносного комплекса;

- определена доля площадей с различной степенью минерализации подземных вод;

- рассчитан коэффициент корреляции между минерализацией подземных вод и уровнем заболеваемости сельского населения Курганской области.

Таким образом, была выявлена зависимость между минерализацией подземных вод, используемых для питьевого водоснабжения сельских населенных пунктов области, и уровнем заболеваемости населения.

Выполненная работа может быть рассмотрена как этап программы разработки карт, позволяющих установить приоритеты и ограничения хозяйственного использования территории, что составляет основу нормативного эколого-географического прогноза. На основе подготовленной карты возможна разработка блока геологических карт и карт экологических ситуаций.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Онищенко Г. Г. Гигиеническая оценка обеспечения питьевой водой населения Российской Федерации и меры по ее улучшению // Гигиена и санитария. – 2009. – № 2. – С. 4–13.
2. Петров В. Н., Терещенко П. С., Мегорский В. В. Изучение влияния минерального состава питьевой воды на уровень заболеваемости населения в Апатитско-Кировском районе Мурманской области // Морская медицина. – 2017. – Т. 3, № 3. – С. 86–93.
3. Аршевский С. В., Аршевская О. В. Анализ хозяйственно-питьевого водоснабжения сельских населенных пунктов в Курганской области // V Зыряновские чтения : материалы Всероссийской научно-практической конференции (Курган, 12–14 декабря 2007 г.). – Курган : Курганский государственный университет, 2007. – С. 153.
4. Науменко Н. И., Завьялова О. Г., Акимова Т. Г. География Курганской области : Краеведческое пособие. – Курган : КГУ, 2019. – 276 с.
5. Ильин Д. А., Кокорина И. П. Исследование геологических разрезов ордовикского возраста Горного Алтая // Интерэкспо ГЕО-Сибирь. XVII Междунар. науч. конгр. : Магистерская научная сессия «Первые шаги в науке» : сб. материалов в 8 т. (Новосибирск, 19–21 мая 2021 г.). – Новосибирск : СГУГиТ, 2021. Т. 6. – С. 109–115. – DOI 10.33764/2618-981X-2021-6-109-115.
6. Кацко С. Ю., Ильин Д. А., Карасюк М. А. Разработка веб-ГИС «Отложения ордовикского периода северо-востока Горного Алтая» // Вестник СГУГиТ. – 2022. – Т. 27, № 6. – С. 131–140. – DOI 10.33764/2411-1759-2022-27-6-131-140.
7. Карпик А. П. Методологические и технологические основы геоинформационного обеспечения территорий : монография. – Новосибирск : СГГА, 2004. – 260 с.
8. Кокорина И. П., Карасюк М. А., Ильин Д. А. Картографическое обеспечение исследований на геологических разрезах Горного Алтая // Регулирование земельно-имущественных отношений в России: правовое и геопространственное обеспечение, оценка недвижимости, экология, технологические решения : сб. материалов V Национальной научно-практической конференции в 3 ч. (Новосибирск, 24–26 ноября 2021 г.). – Новосибирск : СГУГиТ, 2022. Ч. 2. – С. 51–56. – DOI 10.33764/2687-041X-2022-2-51–56.
9. Логинов Д. С. Опыт создания прогнозно-минерагенических карт по открытым геолого-геофизическим данным в ГИС-среде // Вестник СГУГиТ. – 2022. – Т. 27, № 2. – С. 134–148. – DOI 10.33764/2411-1759-2022-27-2-134-148.
10. Единый фонд геологической информации о недрах. Реестр первичной и интерпретированной геологической информации [Электронный ресурс] // ФГБУ «Росгеолфонд». – Режим доступа: <https://efgi.ru> (дата обращения: 01.08.2022).
11. Коваль А. Е. Использование водных ресурсов Уральского федерального округа и Курганской области // Астраханский вестник экологического образования. – 2020. – № 2 (56). – С. 49–56.
12. Недропользование – Департамент природных ресурсов и охраны окружающей среды Курганской области [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.priroda.kurganobl.ru/3580.html> (дата обращения 02.11.2022).
13. Завьялова О. Г., Коваль А. Е. Региональное природопользование (на примере Курганской области) : учеб. пособие. – Курган : Курганский гос. ун-т, 2008. – 198 с.
14. Национальный стандарт Российской Федерации. ГОСТ Р 59054–2020. Охрана окружающей среды. Поверхностные и подземные воды. Классификация водных объектов. – М. : Стандартинформ, 2020. – 20 с.
15. Фоменко Г. А., Фоменко М. А. Особенности обеспечения питьевой водой сельского населения Ярославской области в современных условиях // Известия Академии наук. География. – 1999. – № 5. – С. 55–60.
16. Основные показатели работы учреждений здравоохранения Курганской области. – Курган, 1986–2000.
17. О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2020 году. Государственный доклад. – М. : Минприроды России; МГУ имени М. В. Ломоносова, 2021. – 864 с.
18. Показатели заболеваемости по данным обращаемости в лечебно-профилактические учреждения Курганской области в 2002 году (статистические материалы). Управление здравоохранения Курганской области. Медицинский информационно-аналитический центр. – Курган, 2003.

19. Правительство Курганской области. Департамент гражданской защиты, охраны окружающей среды и природных ресурсов Курганской области. Доклад о состоянии и об охране окружающей среды Курганской области в 2021 году. – Курган, 2022. – 194 с.
20. Объяснительная записка к атласу специализированных гидрогеологических карт первого от поверхности водоносного комплекса по территории Курганской области в масштабе 1 : 200 000. – АООТ «Средне-Уральская геологоразведочная экспедиция»: Верхняя Пышма, 1995.
21. Мыслыва Т. Н., Куцаева О. А., Подлесный А. А. Сравнение эффективности методов интерполяции на основе ГИС. – Горки : БГСА, 2017. – С. 146–152.
22. Норожная А. Г., Червань А. Н. Технология проведения геосистемного анализа для территориального планирования природопользования. – Пенза : Академия Естествознания, 2016. – 557 с.
23. Демьянов В. В., Савельева Е. А. Геоestatистика теория и практика. – М. : Наука, 2010. – 327 с.
24. Kriging Interpolation [Electronic resource]. – Mode of access: <http://www.nbb.cornell.edu/neurobio/land/oldstudentprojects/cs490-94to95/clang/kriging.html>.
25. Скворцов А. В., Мирза Н. С. Алгоритмы построения и анализа триангуляции. – Томск : Изд-во Том. ун-та, 2006. – 168 с.
26. Weng Q. Quantifying Uncertainty of Digital Elevation Models Derived from Topographic Maps // *Advances in Spatial Data Handling* / Richardson D. E., van Oosterom P. (Eds.). – Springer, Berlin, Heidelberg, 2002. – DOI 10.1007/978-3-642-56094-1_30.
27. Weng Q. (2006). An Evaluation of Spatial Interpolation Accuracy of Elevation Data // *Progress in Spatial Data Handling* / Riedl A., Kainz, W., Elmes G. A. (Eds.). – Springer, Berlin, Heidelberg, 2006. – DOI 10.1007/3-540-35589-8_50.
28. Koshel S. Algorithm for Topologically Correct Gridding of Contour Data. – 2012. – DOI 10.13140/RG.2.1.2131.8561.
29. Яненко Н. Н. Метод дробных шагов решения многомерных задач математической физики. – Новосибирск : Наука, 1967. – 194 с.
30. Гмурман В. Е. Теория вероятностей и математическая статистика [Электронный ресурс] : учебник для вузов. – 12-е изд. – М. : Юрайт, 2023. – 479 с. – Режим доступа: <https://urait.ru/bcode/510437> (дата обращения: 06.06.2023).
31. Здравоохранение и социальное обеспечение Курганской области в 1995–2000 гг. – Курган: Госкомстат России, 2001. – С. 12.

Об авторах

Ирина Петровна Кокорина – кандидат технических наук, научный сотрудник лаборатории зоомониторинга.

Геннадий Павлович Мартынов – доцент кафедры высшей математики.

Станислав Юрьевич Кацко – кандидат технических наук, доцент кафедры прикладной информатики и информационных систем.

Максим Андреевич Карасюк – магистрант.

Получено 21.06.2023

© И. П. Кокорина, Г. П. Мартынов, С. Ю. Кацко, М. А. Карасюк, 2023

Application of spatial analysis methods to determine the average mineralization of groundwater in the Kurgan region

I. P. Kokorina¹, G. P. Martynov², S. Yu. Katsko^{2}, M. A. Karasyuk²*

¹ Institute of Systematics and Ecology of Animals, Novosibirsk, Russian Federation

² Siberian State University of Geosystems and Technologies, Novosibirsk, Russian Federation

*e-mail: s.katsko@ssga.ru

Abstract. In the Kurgan region there is a shortage of water resources and the issue of water supply is particularly acute in rural areas. Such a situation leads to an increase in water-related diseases and may result in an intensification of migration from the region. The aim of this study is to identify the correlation between the level of mineralization in the underground water used for drinking water supply in rural settlements of the region and the

incidence of diseases among the population. As a result of the research, a map of the average mineralization of the first aquifer in the Kurgan region was created. A spatial analysis was conducted, which showed the proportion of areas with different levels of mineralization within the region. A correlation between the average mineralization of underground water and the incidence of diseases among the rural population of the region was established.

Keywords: geoinformation cartography, groundwater mineralization, morbidity of the population, interpolation, surface, correlation, rural settlements

REFERENCES

1. Onishchenko, G. G. (2009). Hygienic assessment of drinking water supply for the population of the Russian Federation and measures for its improvement. *Gigiena i sanitariya [Hygiene and Sanitation]*, 2, 4–13 [in Russian].
2. Petrov, V. N. (2017). Study of the Influence of Mineral Composition of Drinking Water on the Incidence Rate of the Population in the Apatity-Kirovsk District of the Murmansk Region. *Morskaya medicina [Maritime Medicine]*, 3(3), 86–93 [in Russian].
3. Arshevsky, S. V., & Arshevskaya, O. V. (2007). Analysis of economic and drinking water supply in rural settlements of the Kurgan Oblast. In *Sbornik materialov Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii: V Zyryanovskie chteniya [Proceedings of the All-Russian Scientific and Practical Conference: V Zyryanovsk Readings]* (P. 153). Kurgan: Kurgan State University Publ. [in Russian].
4. Naumenko, N. I., Zavyalova, O. G., & Akimova, T. G. (2019). *Geografiya Kurganskoy oblasti: Kraevedcheskoe posobie [Geography of the Kurgan Oblast: Local History Guidebook]*. Kurgan: Kurgan State University Publ., 276 p. [in Russian].
5. Ilyin, D. A., & Kokorina, I. P. (2021). Study of geological sections of the Ordovician age in the Altai Mountains. In *Sbornik materialov Interexpo GEO-Sibir'-2021: Magisterskaya nauchnaya sessiya: T. 6. Pervye shagi v nauke [Proceedings of Interexpo GEO-Siberia-2021: Master's Scientific Session: Vol. 6. First Steps in Science]* (pp. 109–115). Novosibirsk: SSUGT Publ. DOI 10.33764/2618-981X-2021-6-109-115 [in Russian].
6. Katsko, S. Yu., Ilin D. A., & Karasyuk M. A. (2022). Development of a web-GIS "Deposits of the Ordovician-Visean Period in the Northeast of the Altai Mountains". *Vestnik SGUGiT [Vestnik SSUGT]*, 27(6), 131–140. DOI 10.33764/2411-1759-2022-27-6-131-140 [in Russian].
7. Karpik, A. P. (2004). *Metodologicheskie i tekhnologicheskie osnovy geoinformacionnogo obespecheniya territoriy [Methodological and Technological Foundations of Geoinformation Support for Territories]*. Novosibirsk: SSGA Publ., 260 p. [in Russian].
8. Kokorina, I. P., Karasyuk, M. A., & Ilyin, D. A. (2022). Cartographic support of research on the geological sections of Gorny Altai. In *Sbornik materialov V Natsional'noy nauchno-prakticheskoy konferentsii: ch. 2. Regulirovanie zemelno-imushchestvennyh otnosheniy v Rossii: pravovoe i geoprostranstvennoe obespechenie, ocenka nedvizhimosti, ekologiya, tekhnologicheskie resheniya [Proceedings of the V National Scientific and Practical Conference: Part 2. Regulation of Land and Property Relations in Russia: Legal and Geospatial Support, Real Estate Valuation, Ecology, Technological Solutions]* (pp. 51–56). Novosibirsk: SSUGT Publ. DOI 10.33764/2687-041X-2022-2-51-56 [in Russian].
9. Loginov, D. S. (2022). Experience in creating predictive mineralogical maps based on open geological and geophysical data in a GIS environment. *Vestnik SGUGiT [Vestnik SSUGT]*, 27(2), 134–148. DOI 10.33764/2411-1759-2022-27-2-134-148 [in Russian].
10. Unified Fund of Geological Information on Subsoil. Register of Primary and Interpreted Geological Information. (n. d.). In Federal State Budgetary Institution "Rosgeolfond". Retrieved from <https://efgi.ru/> (accessed June 06, 2023) [in Russian].
11. Koval, A. E. (2020). Utilization of Water Resources in the Ural Federal District and Kurgan Region. *Astrahanskiy vestnik ekologicheskogo obrazovaniya [Astrakhan Bulletin of Environmental Education]*, 2(56), 49–56 [in Russian].
12. Subsoil use – Department of Natural Resources and Environmental Protection of the Kurgan Region. Retrieved from <http://www.priroda.kurganobl.ru/3580.html> (accessed June 06, 2023) [in Russian].
13. Zavyalova, O. G., & Koval A. E. (2008). *Regional'noe prirodopol'zovanie (na primere Kurganskoy oblasti) [Regional Nature Management (using the example of the Kurgan Oblast)]*. Kurgan: Kurgan State University Publ., 198 p. [in Russian].
14. Standards Russian Federation. (2020). National Standard of the Russian Federation. GOST R 59054-2020. Environmental protection. Surface and groundwater. Classification of water bodies Moscow: Standartinform Publ., 20 p. [in Russian].

15. Fomenko, G. A., & Fomenko, M. A. (1999). Features of Drinking Water Supply for Rural Population in Yaroslavl Oblast under Modern Conditions. *Izvestiya Akademii nauk. Geografiya [Proceedings of the Academy of Sciences. Geography]*, 5, 55–60 [in Russian].
16. Key Performance Indicators of Healthcare Institutions in the Kurgan Oblast (1986–2000). Kurgan [in Russian].
17. State of the Environment and Environmental Protection in the Russian Federation in 2020. State Report (2021). Moscow: Ministry of Natural Resources and Environment of Russia; Moscow State University Publ., 864 p. [in Russian].
18. Incidence rates based on visits to healthcare facilities in the Kurgan Oblast in 2002 (statistical data). Healthcare Management of the Kurgan Oblast (2003). Medical Information and Analytical Center. Kurgan [in Russian].
19. Government of the Kurgan Oblast. Department of Civil Protection, Environmental Protection, and Natural Resources of the Kurgan Oblast. Report on the State and Protection of the Environment in the Kurgan Oblast in 2021 (2022). Kurgan, 194 p. [in Russian].
20. Explanatory note for the atlas of specialized hydrogeological maps of the first aquifer from the surface of the water-bearing complex in the territory of the Kurgan Oblast, at a scale of 1:200 000 (1995). AOOT "Sredne-Uralskaya Geologic Prospecting Expedition": Upper Pyshma [in Russian].
21. Myslyva, T. N., Kutsaeva, O. A., & Podlesny, A. A. (2017). *Sravnienie effektivnosti metodov interpol'yacii na osnove GIS [Comparison of the effectiveness of GIS-based interpolation methods]* (pp. 146–152). Gorki: BGSA Publ., [in Russian].
22. Norojnaya, A. G., & Chervan, A. N. (2016). *Tekhnologiya provedeniya geosistemnogo analiza dlya territorial'nogo planirovaniya prirodopol'zovaniya [Technology of conducting geosystem analysis for territorial planning of nature management]*. Penza: Academy of Natural Sciences Publ., 557 p. [in Russian].
23. Demianov, V. V., & Savelieva, E. A. (2010). *Geostatistika teoriya i praktika [Geostatistics: Theory and Practice]*. Moscow: Nauka Publ., 327 p. [in Russian].
24. Kriging Interpolation. Retrieved from <http://www.nbb.cornell.edu/neurobio/land/oldstudentprojects/cs490-94to95/clang/kriging.html> (accessed June 06, 2023) [in Russian].
25. Skvortsov, A. V., & Mirza, N. S. (2006). *Algoritmy postroeniya i analiza triangulyacii [Algorithms for Construction and Analysis of Triangulations]*. Tomsk: Tomsk University Publ., 168 p. [in Russian].
26. Weng, Q. (2002). Quantifying Uncertainty of Digital Elevation Models Derived from Topographic Maps. In *Advances in Spatial Data Handling*. D. E. Richardson, & P. van Oosterom (Eds.) Springer, Berlin, Heidelberg. DOI 10.1007/978-3-642-56094-1_30.
27. Weng, Q. (2006). An Evaluation of Spatial Interpolation Accuracy of Elevation Data. In *Progress in Spatial Data Handling*. A. Riedl, W. Kainz, & G. A. Elmes (Eds.). Springer, Berlin, Heidelberg. DOI 10.1007/3-540-35589-8_50.
28. Koshel, S. (2012). Algorithm for Topologically Correct Gridding of Contour Data. DOI 10.13140/RG.2.1.2131.8561.
29. Yanenko, N. N. (1967). *Metod drobnyh shagov resheniya mnogomernykh zadach matematicheskoy fiziki [The fractional step method for solving multidimensional problems of mathematical physics]*. Novosibirsk: Nauka Publ., 194 p. [in Russian].
30. Gmurman, V. E. (2023). *Teoriya veroyatnostey i matematicheskaya statistika [Probability Theory and Mathematical Statistics]*. Moscow: Jurait Publ., 479 p. Retrieved from <https://urait.ru/bcode/510437> (accessed June 06, 2023) [in Russian].
31. Healthcare and social security in the Kurgan Oblast from 1995 to 2000 (2001). Kurgan, 12 p. [in Russian].

Author details

Irina P. Kokorina – Ph. D., Researcher, Zoomonitoring Lab.

Gennadiy. P. Martynov – Associate Professor, Department of Higher Mathematics.

Stanislav Yu. Katsko – Ph. D., Associate Professor, Department of Applied Informatics and Informational Systems.

Maxim A. Karasyuk – Master Student.

Received 21.06.2023

© I. P. Kokorina, G. P. Martynov, S. Yu. Katsko, M. A. Karasyuk, 2023