

УДК 512.312

# ГЕОИНФОРМАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРИРОДНО-ТЕХНОГЕННЫХ ОБЪЕКТОВ НА ЭКОЛОГИЧЕСКИ НАПРЯЖЕННЫХ ТЕРРИТОРИЯХ

**Усманов Р.Н.**

д.т.н., профессор,

Ташкентский университет информационных технологий,  
тел.: +(99871) 238-65-10, e-mail: rishat.tuit@mail.ru**Отениязов Р.И.**

д.т.н., заведующий кафедрой,

Нукусский филиал Ташкентского университета информационных технологий,  
тел.: +(99894) 652-20-88, e-mail: oteniyazov.rashid@mail.ru**Алламуратова З.Ж.**

стажер-исследователь,

Ташкентский университет информационных технологий,  
тел.: +(99891) 388-56-66, e-mail: 74zamira@inbox.ru**Кучкаров Т.А.**

стажер-исследователь,

Ташкентский университет информационных технологий,  
тел.: +(99897) 708-22-10, e-mail: timnet4u@gmail.com

В статье предлагается общая концепция геоинформационного моделирования природно-техногенных объектов (ПТО) на экологически напряженных территориях и принятия решений в условиях разнородной информации (числовой, нечисловой). Рассмотрены вопросы цифровой обработки аэрокосмических изображений гидрогеологических объектов на базе программных комплексов ArcGIS, Erdas Imagine, ENVI и предлагаются алгоритмы и программные средства параллельной обработки изображений ПТГГО, а также предлагаются алгоритмы и комплекс программ поддержки принятия решений на основе построения карт взаимосвязи между тематическими слоями формирования ГИС модели ПТГГО.

**Ключевые слова:** геоинформационное моделирование, природно-техногенные объекты, техногенные факторы, гидрогеологические объекты, атрибутивные данные, тематические слои, полигональные объекты.

## GEOINFORMATION MODELING OF NATURAL - TECHNOGENIC OBJECTS OF ENVIRONMENTALLY STRESSED TERRITORIES

Usmanov R.N., Oteniyazov R.I., Allamuratova Z.J., Kuchkarov T.A.

The article proposes a general concept of geoinformation modeling of natural-technogenic objects (NTO) in ecologically tense territories and decision-making under heterogeneous information (numerical, non-numeric). The problems of digital processing of aerospace images of hydrogeological objects on the basis of ArcGIS, Erdas Imagine, and ENVI software complexes are proposed, and algorithms and software for parallel image processing of NTHGO (Natural-technogenic hydrogeological object) are proposed, and algorithms and a set of decision support programs are proposed on the basis of mapping maps between the thematic layers of the GIS model formation NTHGO.

**Keywords:** geoinformation modeling, natural and technogenic objects, technogenic factors, hydrogeological objects, attributive data, thematic layers, polygonal objects.

## EKOLOGIK VAZIYAT KESKIN HUDUDLARDA TABIIY-TEXNOGEN OB'EKTLARNI GEOAXBOROT MODELLASHTIRISH

Usmanov R.N., Oteniyazov R.I., Allamuratova Z.J., Kuchkarov T.A.

Maqolada ekologik vaziyat keskin hududlarda tabiiy-texnogen ob'ektlarni (TTO) geoaxborot modellashtirish va turli ma'lumotlar sharoitida (sonli, sonli emas) qarorlar qabul qilishning umumiy kontseptsiyasi taklif etilgan. ArcGIS, Erdas Imagine, ENVI dasturiy komplekslari asosida gidrogeologik ob'ektlarning aerokosmik tasvirlariga raqamli ishlov berish masalalari ko'rib chiqilgan va TTGGO (Tabiiy texnogen gidrogeologik ob'ektlar) tasvirlaridan ma'lumotlar olish algoritmlari va TTGGO tasvirlarini parallel ishlov berishning algoritmi va dasturiy vositalari taklif etilgan, shuningdek

TTGGO ning GAT modeli tematik qatlamlari orasidagi bog`lanishlarni aks ettiruvchi elektron kartalar yaratish asosida qarorlar qabul qilishga ko`maklashuvchi algoritmlari va dasturiy vositalar kompleksi taklif etilgan.

**Kalit so'zlar:** geoaxborot modellashtirish, tabiiy-texnogen ob`ektlar, texnogen faktorlar, gidrogeologik ob`ektlar, atributiv ma'lumotlar, tematik qatlamlar, poligonal ob`ektlar.

### 1. Введение

В настоящее время ведутся интенсивные исследования по вопросам оценки состояний природно-техногенных объектов на базе современных методов моделирования на ГИС основе, что является основой совершенствования систем поддержки принятия решений по улучшению экологического состояния крупных территорий. Территория Южного Приаралья является примером экологически напряженной территорий, что объясняется неудовлетворительным состоянием орошаемых территорий, поверхностных и подземных вод и т.д. Одним из перспективных путей комплексного исследования экологического состояния таких территорий в условиях разнородной информации (числовой, лингвистической, растровой, территориально-распределенной и т.д.) является применение современных ГИС.

Весьма актуальной проблемой является проблема моделирования процесса поддержки принятия решений по состоянию гидрогеологических объектов, на основе непосредственного использования опыта, знаний и мнений специалистов-гидрогеологов, имеющих опыт работы с изучаемыми гидрогеологическими объектами.

### 2. Концепция геоинформационного моделирования

Ниже предлагается концепция решения задачи геоинформационного моделирования и поддержки принятия решений в условиях разнородной информации:

- числовой (данные получаемые с режимных станции по Wi-fi сети);
- информация получаемая от экспертов имеющих отношения к рассматриваемому объекту или имеющих опыт работы с такими объектами;
- информация получаемая с изображений объектов путем выделения существенных сегментов

Следует отметить, что результаты прогнозов состояний гидрогеологических объектов должны трактоваться с позиций разных проблем (мелиоративной, водоохраной, экологической) с последующим согласованием решений, принимаемых с учетом временного фактора (координация решений). Этими объясняется необходимость тщательного исследования вопроса о взаимосвязях принимаемых решений. Предположим, что в связи с возникновением проблемы

изображений, характерных с точки зрения решаемой задачи;

- информация получаемая из видеопотоков информации (видео сцена) и т.д.

Данная концепция предлагается на рис. 1.

### 3. Алгоритм принятия решений

Алгоритм принятия решения основывается на ситуационном анализе и могут принимать решения:

$A_U$  - <множество возможных решений>;  $A_U$  - <множество допустимых решений из возможных>;

$A_U^{PP}$  - <множество решений профилактического характера (ПФ)>;  $A_U^{\Pi}$  - <множество решений предупредительного характера (Π)>;  $A_U^{BC}$  - <множество решений восстановительного характера (BC)>;  $A_U^{\text{Л}}$  - <множество решений локализационного характера (Л)>. Ясно, что

$$A_D \subset A_U, A_U = A_U^{PP} \cup A_U^{\Pi} \cup A_U^{BC} \cup A_U^{\text{Л}}$$

При этом, возможны три типа управляющих решений: «Увеличить», «Уменьшить» и «Не изменить» (Мелихов А.Н., Бернштейн Л.С., Коровин С.Я., 1990). Обозначая это решения значениями ЛП < «Увеличить»,  $T_I, X$  >, < «Уменьшить»,  $T_D, X$  >, < «Не изменить»,  $T_Z, X$  >, где  $T_I, T_D, T_Z$  - термножества ЛП < «Увеличить», «Уменьшить», «Не изменить» >. Введем обозначения: <  $I_j, T_I^j, X$  > - для ЛП «Увеличить»; <  $D_j, T_D^j, X$  > - для ЛП «Уменьшить»; <  $Z_j, T_Z^j, X$  > - для ЛП «Не изменять»; ЛП  $I_j, D_j, Z_j$  имеют термножества {«немного», «сильно»}, {«немного», «сильно»}, {«не изменить»}.

Перспективном в плане выбора управляющих решений является разложения общего решения по частным решениям:

$$R^j = \mu_{R^j}(R_I^j) \wedge R_I^j + \mu_{R^j}(R_D^j) \wedge R_D^j + \mu_{R^j}(R_Z^j) \wedge R_Z^j,$$

где  $\mu_{R^j}(R_I^j) = \gamma(R^j, R_I^j), \mu_{R^j}(R_D^j) = \gamma(R^j, R_D^j), \mu_{R^j}(R_Z^j) = \gamma(R^j, R_Z^j)$ .

мелиоративного характера приняты последовательные решения  $R_j^1, R_j^2$ , где

$$R_j^1 : P_j^{(0)} \rightarrow P_j^{(1)} ; R_j^2 : P_j^{(1)} \rightarrow P_j^{(2)} ;$$

$$P_j^{(k)} = \{ < \alpha_1^k / m >, < \alpha_2^k / c >, < \alpha_2^k / b > \},$$

k = 1, 2, 3,

$\alpha_1^k, \alpha_2^k, \alpha_3^k$  - значения ФП соответствующих термов для k - ситуации.

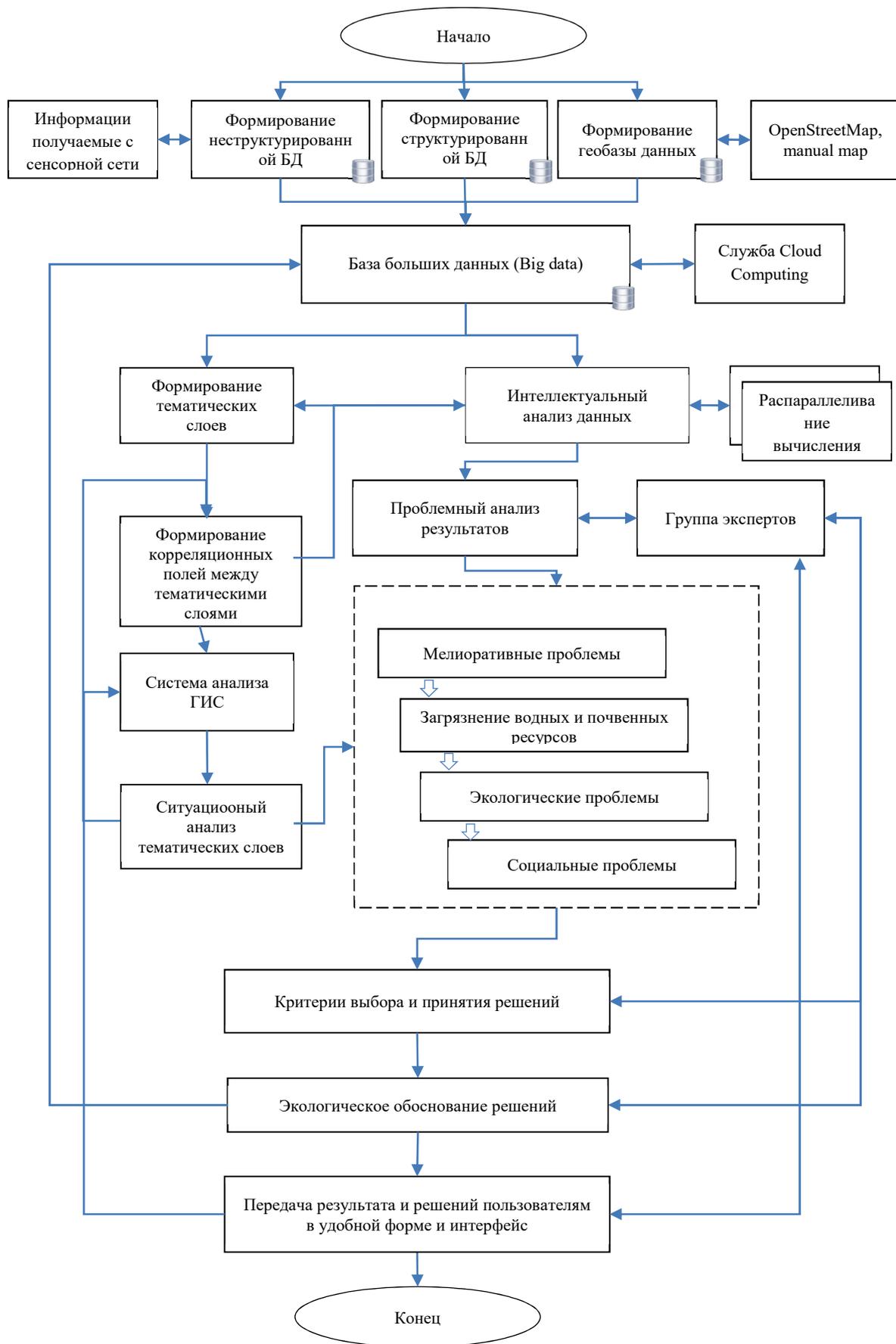


Рис. 1. Концепция геоинформационного моделирования и принятия решений в условиях разнородной информации

Оценка взаимосвязи решений  $R_j^1$  и  $R_j^2$  осуществляется в следующем порядке:

1. Решения  $R_j^1$  и  $R_j^2$  разлагаются по  $I_1, I_2, D_1, D_2$  и  $Z$ . Для определения общего решения вычисляются значения всех ФП  $\mu(R_{I_1}^1, R_{I_1}^2), \mu(R_{I_2}^1, R_{I_2}^2), \mu(D_{I_1}^1, D_{I_1}^2), \mu(D_{I_2}^1, D_{I_2}^2)$  и  $\mu(R_Z^1, R_Z^2)$ .
2. Отбрасываются те ФП значения которых меньше 0,4.  
Окончательное решение  $R$  получается разложением ФП решений по  $I_j, D_j, Z$ .

Интеграция предложенного алгоритма в процедуру принятия решений на ГИС основе в условиях доминирования данных растрового характера осуществляется таким образом:

1. Ввод данных. На этом этапе осуществляется векторизация растрового изображения, вводятся атрибутивные данные с привязкой к графическим данным.
2. Управление базой данных. Графические объекты, состоящие из растровых и векторных изображений, объединяются в слои. С каждым слоем связывается таблица атрибутивных данных.
3. Обработка и анализ данных. Осуществляется временный поиск графических и атрибутивных данных и вывод результатов. Для площадных объектов при необходимости производится подсчет площадей и периметров границ участков.
4. Интерпретация полученных результатов и их анализ, поддержка принятия решений и т.п.

Представление полученных данных в удобном для пользователей виде и их передача по каналам связи. Предложенные алгоритмы создают возможность комплексного исследования экологически напряженных территорий на ГИС основе, что осуществляется в следующем порядке:

1. По исходной карте (снимку) создается электронная карта исследуемой территории.
2. Создается база атрибутивных данных и осуществляется привязка атрибутивных данных к выделяемым топологическим объектам.
3. Создается база данных для исследования территории с позиции разных проблем: мелиоративной, водоохранной, экологической.
4. Выполняется классификация. В результате выполнения классификации формируется таблица соответствия территории или её части к конкретной проблеме.

#### 4. Разработка электронных карт

Для разработки электронной карты территории выбираются следующие топологические объекты:

1. Точечные – водозаборные, наблюдательные скважины, здания, и т.д.
2. Линейные – каналы, реки, дороги, границы территорий и т.д.

3. Полигональные – орошаемые территории, леса, выделенные экологически напряженные территории и т.д.

ГИС модель территории гидрогеологического объекта формируется на основе схемы (Рис. 2).

Построения электронной карты территории осуществляется в системе ArcMap:

1. В начале вводится в электронную карту множество полигональных объектов и их имена. По типам полигональных объектов выбираем цвета для их визуализации.
2. Осуществляется ввод в электронную карту линейных объектов – каналы, реки, дороги, границы территорий и их имена.
3. Осуществляется ввод в электронную карту точечных объектов – скважины, отдельные здания, деревья и их имена.

Предлагаемая методология геоинформационного моделирования гидрогеологических объектов основывается на последовательном применении научных и практических основ при создании тематических и комплексных электронных карт экологически напряженных территорий по схеме анализ-синтез-прогноз.

На этапе анализа формируются аналитические электронные карты, отражающие современное состояние территорий в мелиоративном, водоохранном и экологическом отношениях. Далее формируются синтетические электронные карты, объединяющие результаты аналитических карт. На основе синтезированных электронных карт осуществляется комплексное прогнозирование изменений состояния территорий. Весьма перспективным способом обоснования принимаемых решений является построение электронных карт отражающих корреляционные взаимосвязи между двумя или тремя тематическими слоями геоинформационной модели.

В гидрогеологической практике гидрогеологические объекты подверженные влиянию техногенных факторов принято называть гидрогеологическими объектами природно-техногенного характера (ПТГГО). На основе результатов геоинформационного моделирования ПТГГО формируются разные карты, представляющие состояний ПТГГО в мелиоративном ( $A_1$ ), водоохранном ( $A_2$ ) и экологическом ( $A_3$ ) отношениях, принимаемые в дальнейшем, как тематические слои ГИС. Далее, на основе матриц состояний ( $A_1, A_2, A_3$ ) на основе метода «скользящее окно» формируются поля корреляций между парами тематических слоев), а также всеми слоями ( $A_1, A_2$  и  $A_3$ ) по формулам:

$$R_{A_1 A_2 A_3} = \sqrt{(R_{A_1 A_2}^2 + R_{A_1 A_3}^2 - 2R_{A_1 A_2} R_{A_1 A_3}) / (1 - R_{A_2 A_3})}$$

$$R_{A_i A_j} = 1 - 6 \sum_{i=1}^n d_i^2 / (n^2 - n)$$

$$i, j = \overline{1, 3};$$

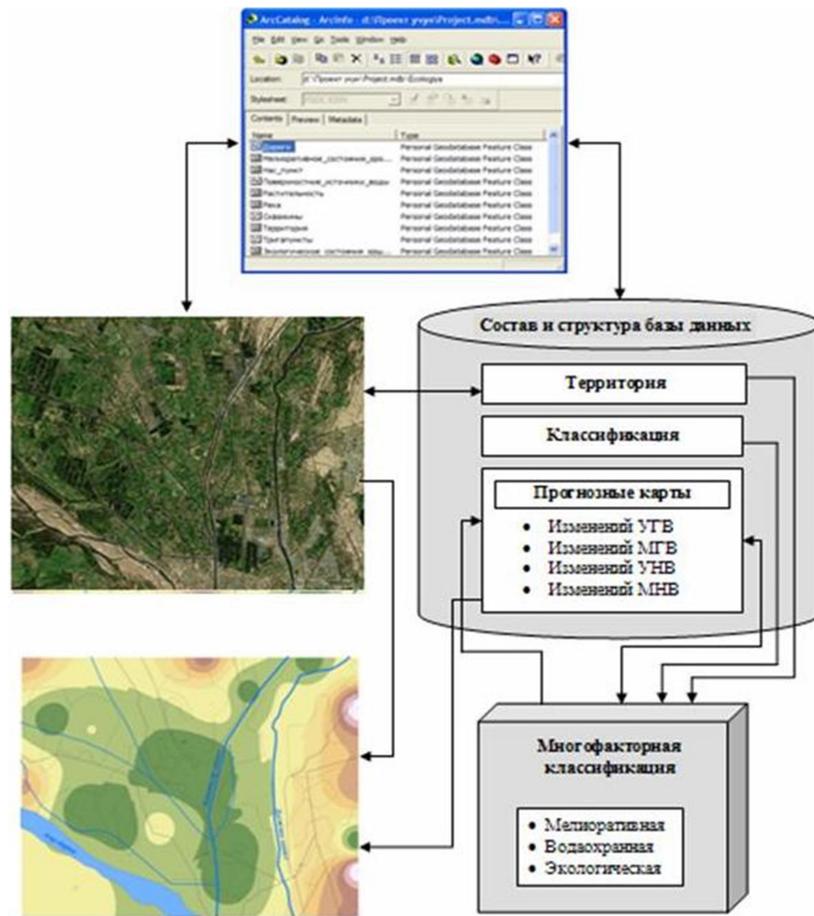


Рис. 2. Схема формирования ГИС модели территории ГГО

разность рангов явлений  $A_i$  и  $A_j$  снятых с разных карт,  $n$  - объем выборки для данной серии. Алгоритм оценки взаимосвязи двух и трех тематических слоев на основе метода «скользящее окно» приводится на рис. 3.

## 5. Результаты

Предложенный алгоритм реализован в виде программного кода на C++.

При изучении ПТГГО на основе анализа изображений полезными являются локализация, усиление и выделение границ-линий разделения различных гидрогеологических характеристик: - зон неоднородностей в плане, границ влияния техногенных факторов, распространения загрязняющих веществ и т.д. Границы на изображениях могут быть образованы разными

условиями, объясняемыми изменением цвета, разрывом поверхностей, перепадами освещения и тенями.

Если имеется возможность получения нескольких изображений одного ПТГГО на несколько моментов времени, то возникают множество вопросов с организацией эффективной обработки, хранением изображений и т.д.

Рассмотрены вопросы цифровой обработки аэрокосмических изображений ПТГГО на базе программных комплексов ArcGIS, Erdas Imagine, ENVI. Применяется способ обучаемой классификации, основанный на Байесовском классификаторе, использующем оценку апостериорного максимум для определения наиболее вероятного класса на базе следующий модели классификатора:

$$D = \ln(a_c) - [0.5 \ln(|Cov_c|)] - [0.5(X - M_c)T(Cov_c^{-1})(X - M_c)]$$

где  $D$  - взвешенное расстояние (вероятность);  $c$  - основной класс;  $X$  - измерение вектора основного пикселя;  $M_c$  - вектор средних значений выборки класса  $c$ ;  $a_c$  - процентная вероятность, что любой основной пиксель относится к классу  $c$  (по умолчанию 1,0, или вводится из априорного знания);  $Cov_c$  - ковариационная матрица пикселей в обычном классе  $c$ ;  $|Cov_c|$  - определитель  $Cov_c$ ;  $Cov_c^{-1}$  -

обратная  $Cov_c$  (матричная алгебра);  $\ln$  - естественная функция логарифм;  $T$  - транспонирование;

На рис. 4 представлены результаты вычислительных экспериментов по принятию решений по ПТГГО на основе результатов геоинформационного моделирования и метода «скользящее окно».



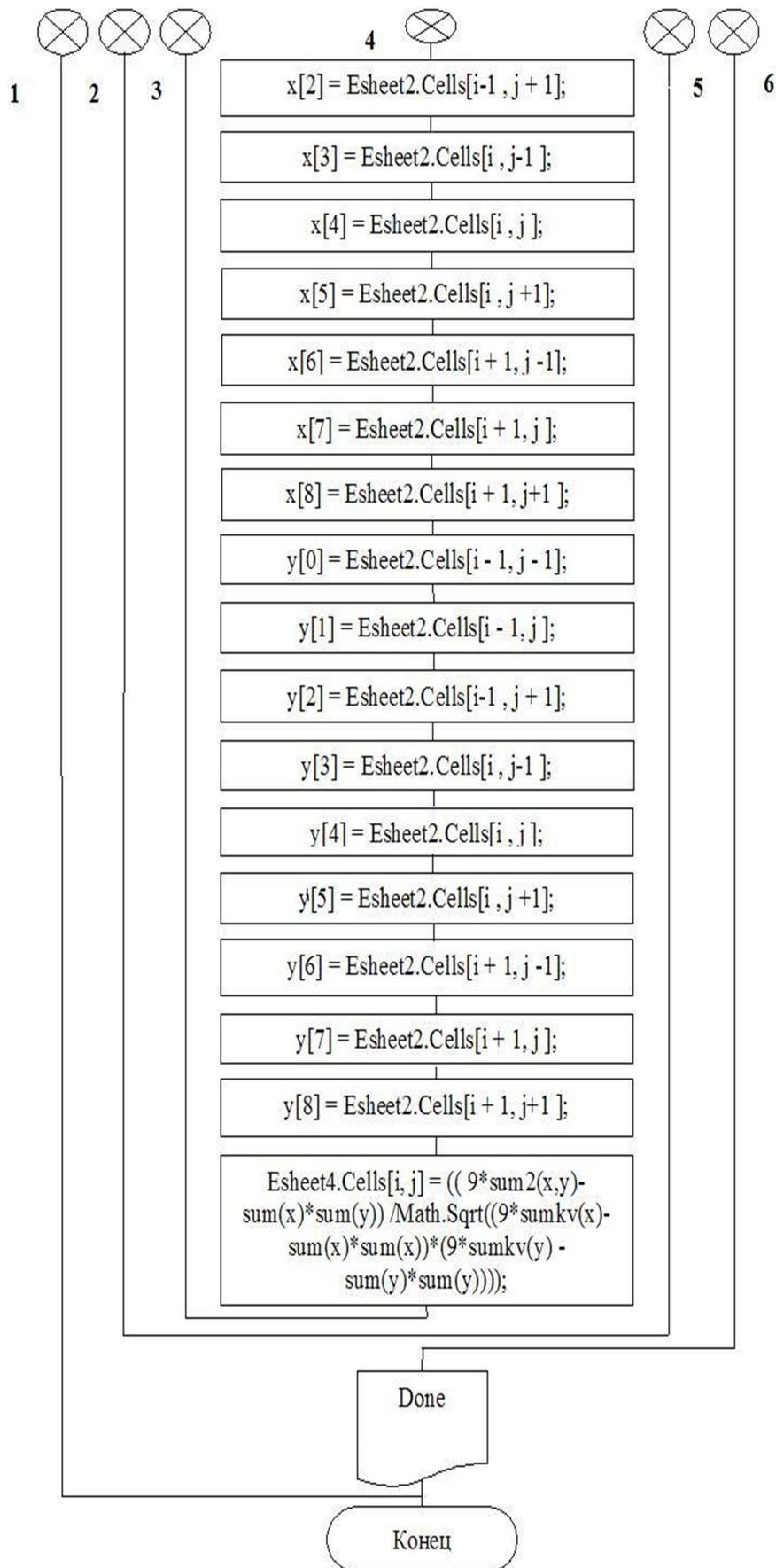


Рис. 3. Алгоритм оценки взаимосвязи двух и трех тематических слоев на основе метода «скользящее окно»

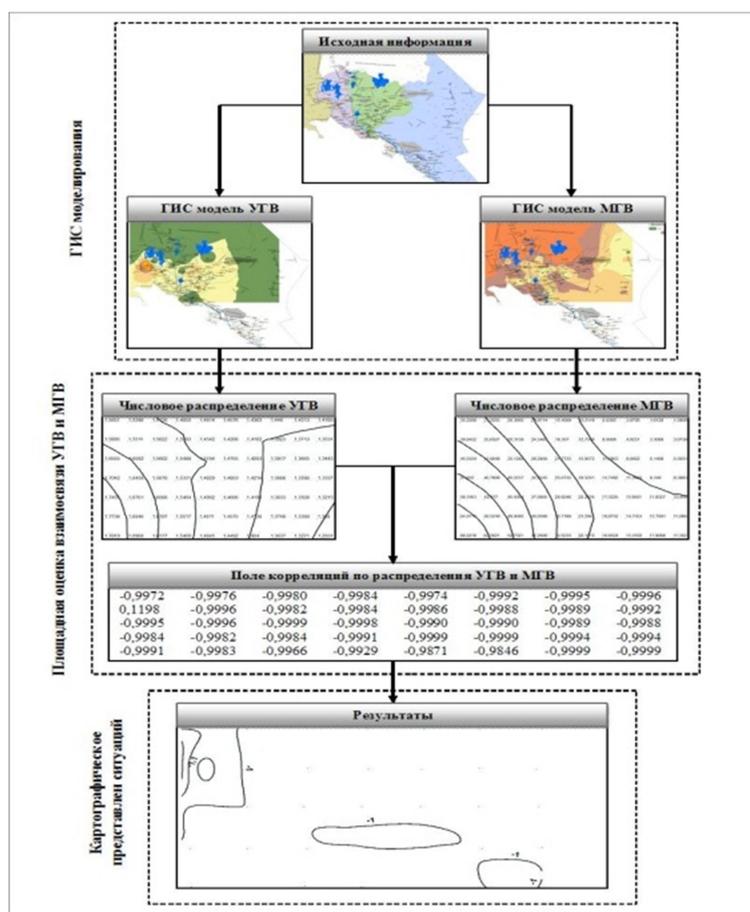


Рис. 4. Поле корреляций между тематическими слоями на основе метода «скользящего окна»

## 6. Заключение

1. Предложены алгоритмы формирования аналитических электронных карт отражающих состояние ПТГГО с позиций разных проблем, а также алгоритмы формирования синтетических электронных карт на основе интеграции аналитические карты.
2. Предложены алгоритмы и программный код для формирования корреляционных полей взаимосвязи между двумя или тремя тематическими слоями, что является основой принятия решений ситуационно-советующего типа для ПТГГО.
3. Результаты геоинформационного моделирования могут представлены в различных формах: таблиц, графиков, сценариев и т.д.

## Литература

- [1] Отениязов Р.И., Алламуратова З.Ж. Алгоритмы расчета корреляционных связей между тематическими слоями ГИС телекоммуникационных систем // Вестник ТУИТ. – Ташкент, 2015. – № 4. – С. 88-93.
- [2] Тикунов В.С. Моделирование в картографии : учебник. – М.: Изд-во МГУ, 1997.
- [3] Усманов Р.Н., Отениязов Р.И. Нечетко-множественный подход к вопросу выработки управляющих решений по состояниям гидрогеологических объектов // Наука и мир. – Волгоград, 2015. – № 5(21). – С. 109-113.
- [4] Усманов Р.Н., Отениязов Р.И. Геоинформационное моделирование гидрогеологических объектов на основе растровых данных // Фан, таълим ва ишлаб чиқариш интеграциясини ахборот коммуникацияси технологиялари асосида ривожлантириш истиқболлари : Республика илмий-амалий анжуман материаллари тўплами. – Қарши, 2016. – С. 200-204.
- [5] Усманов Р.Н., Сеитназаров К.К. Отениязов Р.И. Геоинформационное моделирование при поддержке принятия решений по состояниям гидрогеологических объектов // Фан, таълим ва ишлаб чиқариш интеграциясида ахборот-коммуникация технологияларини куллашнинг хозирги замон масалалари : Республика илмий-амалий анжуман материаллари тўплами. II-қисм. – Нукус, 2015 – С. 274-276.
- [6] Усманов Р.Н., Сеитназаров К.К., Отениязов Р.И. Геоинформационное моделирование на основе растровой модели данных гидрогеологических объектов // Вестник ТУИТ. – Ташкент, 2014. – № 4. – С. 62-67.