

УДК 504.062.2

## СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМЫ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА РОДНИКОВ ПРИРОДНОГО ПАРКА «КУМЫСНАЯ ПОЛЯНА» ГОРОДА САРАТОВА НА ОСНОВЕ ГЕОИНФОРМАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

© 2016 Т.А. Маркина<sup>1</sup>, С.В. Бобырев<sup>1</sup>, Е.И. Тихомирова<sup>1</sup>, Е.А. Николаева<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.

<sup>2</sup> Вольский педагогический колледж им.Ф.И. Панфёрова

Статья поступила в редакцию 14.11.2016

В работе представлена методика экологического мониторинга водных объектов на основе современных информационных технологий, позволяющая осуществлять прогнозирование процессов, протекающих в родниках, и оценивать степень антропогенной нагрузки. Созданы модели движения водных потоков родников, фильтрации атмосферных осадков (снег, дождь) и проникновения загрязнений, процессов загрязнения родниковых систем и алгоритмы прогнозирования их состояния на основании результатов экологического мониторинга.

Ключевые слова: *родник, экологический мониторинг, водный объект, геоинформационная система, математическое моделирование, загрязнение*

Обеспечение населения качественной питьевой водой – распространенная проблема многих регионов России. Анализ современной экологической ситуации показывает, что использование воды поверхностных источников для питьевых целей достаточно проблематично ввиду их существенной уязвимости к загрязнениям, необходимости постоянного экологического мониторинга качества воды и использования дополнительных финансово-затратных технологий по её очистке. Поэтому родники востребованы среди населения г. Саратова в качестве альтернативных источников питьевой воды. В настоящее время под влиянием экологических факторов, преимущественно антропогенного характера, режим источников и качество воды в них существенно изменяются.

**Цель работы:** разработка рекомендаций по охране, восстановлению и использованию родников природного парка «Кумысная поляна».

Выявление источников загрязнения подземных вод невозможно без использования геоинформационных технологий и математического моделирования процессов инфильтрации атмосферных осадков, позволяющих наиболее адекватно оценить экологические риски и выработать мероприятия по рациональному использованию родников в качестве источников водоснабжения населения.

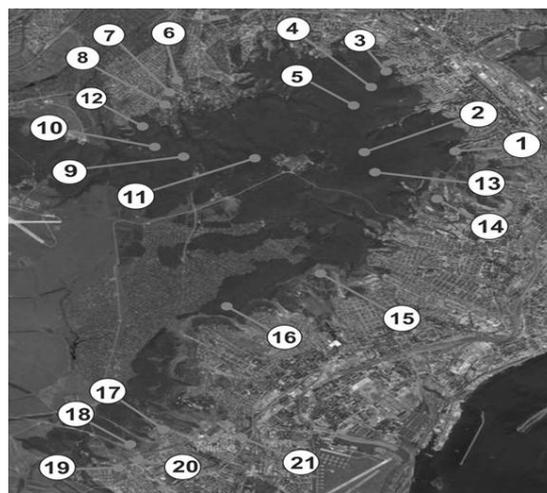
*Маркина Татьяна Александровна, кандидат биологических наук, ассистент кафедры экологии. E-mail: markina-ta88@mail.ru*

*Бобырев Сергей Владимирович, доктор технических наук, профессор кафедры экологии. E-mail: raram\_tr@mail.ru*

*Тихомирова Елена Ивановна, доктор биологических наук, профессор, заведующая кафедрой экологии. E-mail: tichomirova\_ei@mail.ru*

*Николаева Евгения Александровна, преподаватель естественнонаучных дисциплин. E-mail: nikolashki030508@mail.ru*

В качестве объектов исследований были выбраны родники природного парка «Кумысная поляна» г. Саратова, наиболее востребованные среди населения города (рис. 1). В качестве инструментального средства геоинформационного моделирования (ГИМ) (моделирование рельефа исследуемой территории, тальвегов родников, процессы фильтрации атмосферных осадков и др.) была выбрана система Matlab, содержащая не только комплект готовых геоинформационных программ (MappingToolbox) с открытыми текстами, но и простой и мощный язык программирования, позволяющий создавать собственные программы.

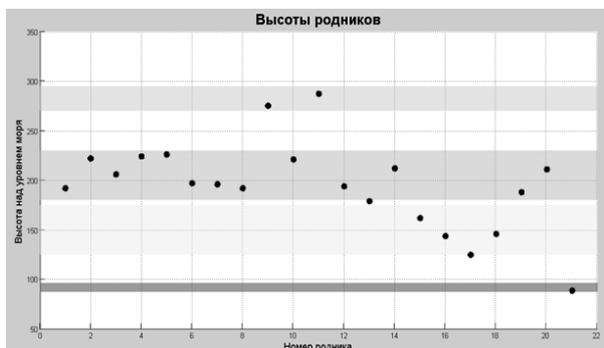


**Рис. 1.** Схема расположения исследуемых родников природного парка «Кумысная поляна»: 1 – Свято-Алексеевский; 2 – Лесная республика; 3 – Серебряный; 4 – Восход; 5 – Верхний; 6 – на 8-ой Дачной; 7 – Андреевский; 8 – на 9-ой Дачной; 9 – Богатырский; 10 – Малиновый; 11 – Татарский; 12 – Поющий; 13 – в Октябрьском ущелье; 14 – Горный ключ; 15 – Корольков сад; 16 – Рокотовский; 17 – Мочиновский; 18 – Алтыногорский; 19 – Ударник; 20 – Лесной; 21 – Токмаковский

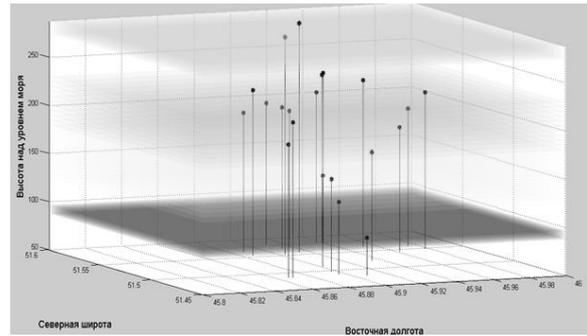
С целью выявления геоэкологических и гидрологических взаимосвязей было проведено районирование исследуемых родников, основой которого послужили гидрологические особенности Латрык-Лысогогорского блока, окаймляющего г. Саратов с западной стороны.

Гидрогеологические условия на территории Саратова характеризуются как сложные, что подчеркивается наличием большого количества водоносных пластов и горизонтов, приуроченных к различным по проницаемости породам мезозойского и четвертичного возраста. Водоносные горизонты объединяются в семь основных гидрогеологических подразделений (горизонтов и комплексов): слабоводоносный современный верхне-четвертичный пролювиально-делювиальный горизонт, слабоводоносный нижнесаратовский горизонт, водоносный сызранский терригенный горизонт, водоупорный маастрихтский карбонатно-терригенный горизонт, водопроницаемый локально-водоносный сантон-кампанский карбонатно-терригенный горизонт, сеноманский водоносный горизонт, слабоводоносный альб-сеноманский горизонт [1]. Несмотря на большое количество водоносных пластов и горизонтов на территории Саратова, большинство исследуемых нами родников относятся к сызранскому терригенному водоносному горизонту.

Для визуализации результатов анализа гидрогеологических, геоморфологических, а также химико-аналитических и микробиологических исследований, мы разработали в системе Matlab комплекс программ «Родник-эко», включающий в себя программы «Родник-geo» и «Родник-group». Программа «Родник-geo» отображает расположение родников ПП «Кумысная поляна» г. Саратова в плане согласно их координатам, а также представление исследуемых источников по отношению к водоносным горизонтам, выходами которых они являются, в двух- (рис. 2а) и трехмерном (рис. 2б) пространстве.

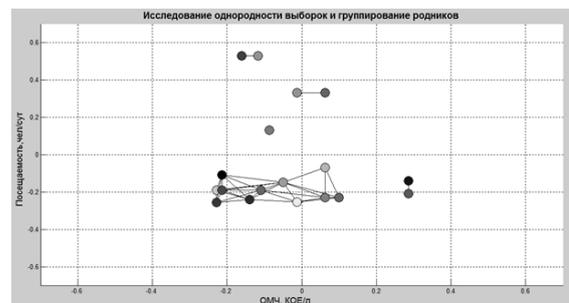


**Рис. 2А.** 2D-представление родников ПП «Кумысная поляна» г. Саратова относительно водоносных горизонтов. Программа «Родник-geo»

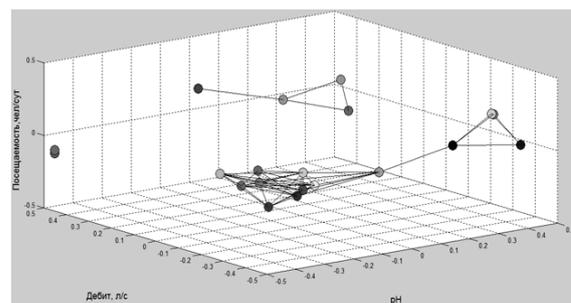


**Рис. 2Б.** 3D-представление родников ПП «Кумысная поляна» г. Саратова относительно водоносных горизонтов. Программа «Родник-geo»

Для формирования кластеров была разработана программа «Родник-group» в среде Matlab, где отличие между кластерами вызвано расхождениями по тринадцати показателям: физический показатель (дебит); химические показатели (рН, жёсткость общая, сухой остаток, нитраты, хлориды, сульфаты, железо общее, окисляемость перманганатная); микробиологические показатели (ОМЧ), антропогенная нагрузка (посещаемость, приближенность транспорта), геологические (принадлежность к водоносному горизонту). При этом группирование родников по количеству анализируемых признаков проводили в двухмерном (рис. 3А) или трёхмерном (рис. 3Б) пространстве, где образование групп родников было весьма наглядно представлено.



**Рис. 3А.** Результаты группирования родников при помощи разработанной программы «Родник-group» в двухмерном пространстве



**Рис. 3Б.** Результаты группирования родников при помощи разработанной программы «Родник-group» в трёхмерном пространстве

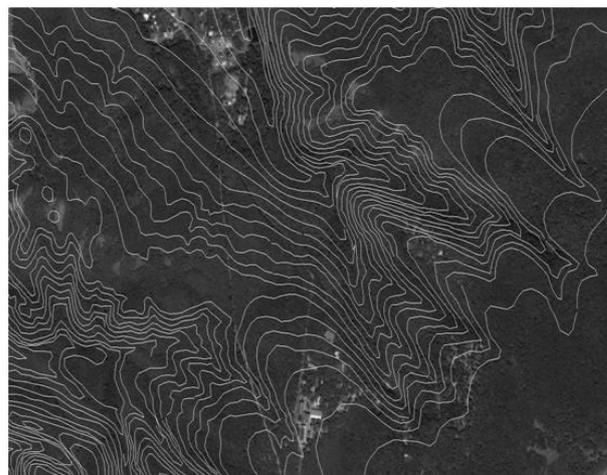
Применение разработанной программы кластерного анализа «Родник-group» в среде MATLAB 7.0 показало её высокую эффективность и позволило установить взаимосвязь биоэкологических, геоэкологических, морфологических и гидрологических данных по отдельным родникам и системе родников в целом. Выявлено, что на экологическое состояние родника преимущественное влияние оказывают наличие антропогенной нагрузки, обустроенность каптажа, а также присутствие источников загрязнений. Данный подход позволяет разрабатывать и обосновывать природоохранные мероприятия не для каждого родника индивидуально, а для группы родников, сходных по набору характеристик.

Таким образом, в результате проведенного анализа было установлено не только наличие значимых связей гидро- и геохимических условий с отдельными компонентами родниковых вод, но и были выделены 3 группы родников по различиям, как в химическом составе вод, так и в особенностях антропогенного воздействия на участки их расположения. Самый крупный кластер С1 состоит из 12 объектов (Малиновский, Свято-Алексеевский, Серебряный, Татарский, Три богатыря, Андреевский, на 9-ой Дачной, на 8-ой Дачной, Лесная республика, Алтыногорский, в Корольковом саду, Поющий). Родники данной группы характеризуются хорошей обустроенностью каптажа и прилегающей территории, их органолептические, химико-аналитические и микробиологические показатели в пределах нормы. Кластеры С2 (у ДОЛ «Ударник», Горный ключ, Лесной, Рокотовский, Верхний, у ДОЛ «Восход») и С3 (в Октябрьском ущелье, Мочинковский, Токмаковский) состоят из 6 и 3 объектов соответственно, причём в последней группе находятся родники с отсутствием санитарно-защитной зоны, высокой антропогенной нагрузкой, в их числе родник Токмаковский, в котором неудовлетворительное состояние каптажа и выявлены превышения по санитарно-гигиеническим показателям [2].

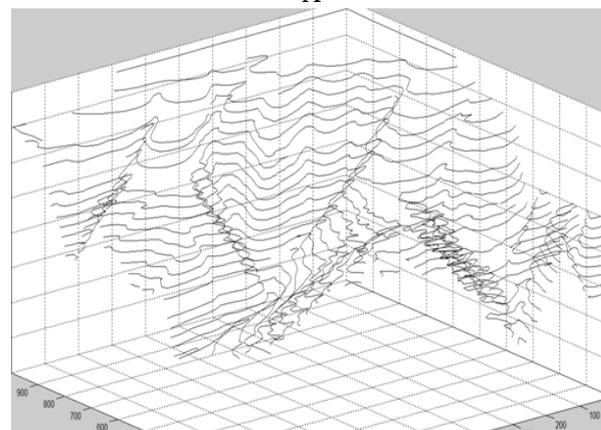
Для разработки геоинформационной модели, отражающей геоэкологические особенности участков территорий ПП «Кумысная поляна» с родниками, необходимо было предварительно подобрать методы математического моделирования геоморфологической структуры и рельефа района исследований. Первым этапом ГИМ являлась векторизация растровых карт путем представления рельефа местности в виде горизонталей, триангуляционной и матричной поверхности (рис. 4А-Г). На следующем этапе проведено наложение растровой карты на рельеф, что позволяет наглядно представить картографическую информацию, а также наложить векторные тематические слои на картооснову или представить их значение в форме поверхности (рис. 5). Исходными данными тематических слоев могут

являться данные как с растровых (в этом случае производится векторизация), так с векторных (в этом случае производится конвертация форматов через обменные файлы ГИС) карт.

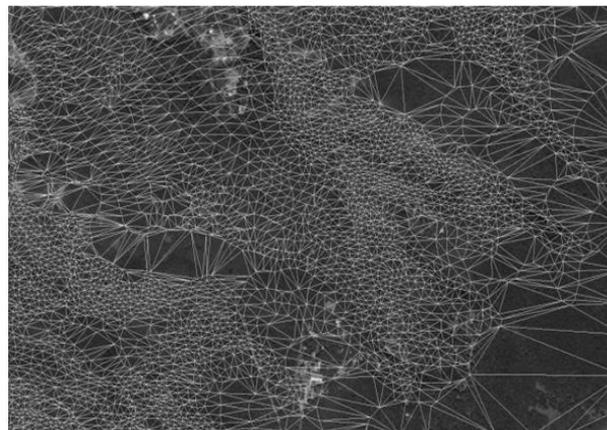
Использование созданных математических моделей позволило произвести комплексный геоинформационный анализ, включая триангуляционное и матричное представление конкретного участка исследуемого рельефа ПП «Кумысная поляна». Моделирование движения водных потоков, питающих родники, по водоносным слоям проводилось с использованием 3D-представления водоносных горизонтов в недрах исследуемой территории (рис. 6).



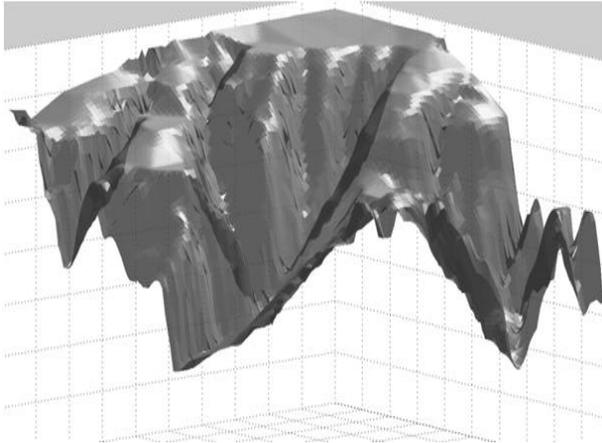
А



Б

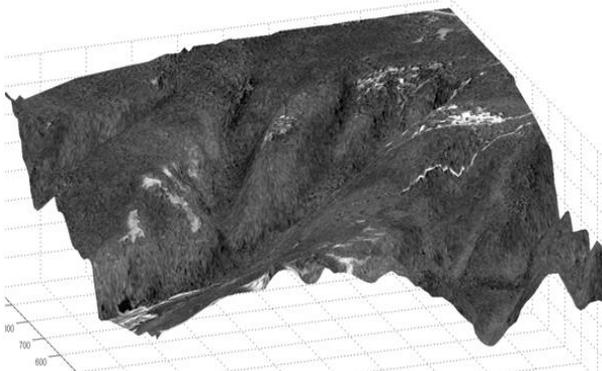


В



Г

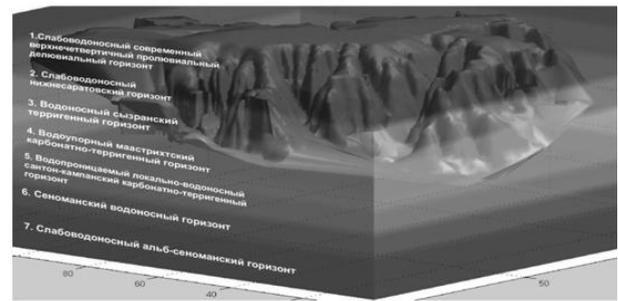
**Рис. 4.** Этапы создания реалистического изображения рельефа Лысогорского массива путём наложения растровой карты на матричную модель местности ПП «Кумысная поляна»: А – сколка горизонталей поверхности; Б – 3D-визуализация сколотых горизонталей; В – триангуляционное представление участка рельефа; Г – матричное представление участка рельефа



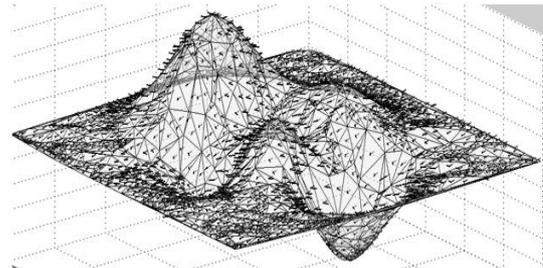
**Рис. 5.** Наложение растровой карты на матричную модель

Моделирование движения водных потоков, питающих родники, по водоносным слоям проводилось с использованием 3D-представления водоносных горизонтов в недрах исследуемой территории (рис. 6).

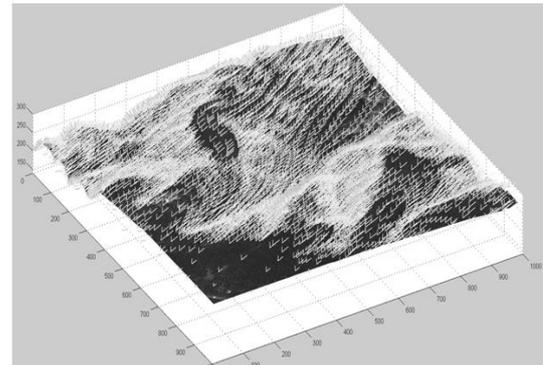
Разработка математических моделей таяния снежного покрова и расчет углов падения солнечных лучей на поверхность основывается на триангуляционном представлении рельефа с вектором-градиентом в центре каждого триангла (рис. 7А-Б). Использование ГИС-технологий позволяет создать наглядные модели местности, отобразить движение водных потоков и депонирование воды в углублениях, а информация ГИС-моделей делает возможным рассчитать реальные параметры гидрологических процессов руслообразования, формирования свойств воды в водных потоках [3].



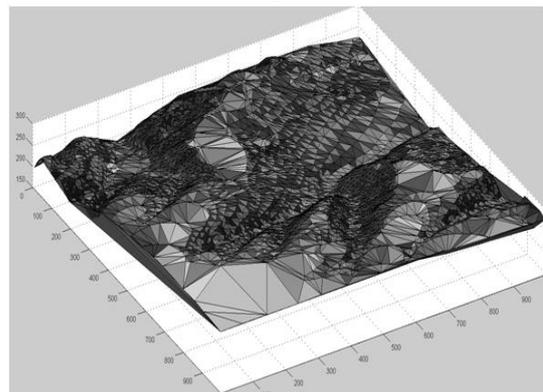
**Рис. 6.** Триангуляционное и матричное представление исследуемого участка ПП «Кумысная поляна» с водоносными горизонтами



А



Б



В

**Рис. 7.** Разработка математических моделей таяния снежного покрова:

А – триангуляционное представление рельефа с вектором-градиентом в каждом триангле (модельный рельеф); Б – совмещение векторного тематического слоя с растровой картой; В – представление угла падения лучей цветом и прозрачностью триангла

**Выводы:** разработанные методологические подходы к применению ИТ и ГИС при исследовании территории родников ПП «Кумысная поляна» позволили смоделировать процессы фильтрации атмосферных осадков (снег, дождь) и проникновения загрязнений в родники. Полученные результаты позволили теоретически обосновать генезис родников на исследуемой территории и схожесть механизмов фильтрации атмосферных осадков, а также сделать заключение о единстве химического состава родниковых вод при отсутствии антропогенных воздействий.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Шешнёв, А.С. Антропогенные отложения и формы рельефа городских территорий: формирование, развитие, геоэкологическая роль (на примере Саратова). Саратов: изд-во СГТУ, 2012. 287 с
2. Маркина, Т.А. Оценка экологического состояния родников г. Саратова по данным мониторинга за 2009-2013 гг. / Т.А. Маркина, Е.И. Тихомирова, С.В. Бобырев, А.А. Орлов // *Фундаментальные исследования*. 2014. № 5 (часть 6). С. 1207-1212.
3. Маркина, Т.А. Инновации в экологии: Использование геоинформационных технологий для описания системы водных объектов г. Саратова / С.В. Бобырев, Т.А. Маркина, Е.И. Тихомирова, А.А. Макарова // *Инновационная деятельность*. 2014. № 6. С. 77-82.

### IMPROVING THE SYSTEM OF ECOLOGICAL MONITORING OF SPRINGS IN NATURAL PARK "KUMYSNAYA POLYANA" IN SARATOV CITY ON THE BASIS OF GEOINFORMATION MODELING

© 2016 Т.А. Markina<sup>1</sup>, S.V. Bobyrev<sup>1</sup>, E.I. Tikhomirova<sup>1</sup>, E.A. Nikolayeva<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Saratov State Technical University named after Gagarin Yu.A.

<sup>2</sup> Volsk Pedagogical College named after F.I. Panfyorov

In work the method of ecological monitoring of water objects on the basis of modern information technologies allowing to perform forecasting of the processes proceeding in springs and to estimate degree of anthropogenous loading is provided. Models of water flows movement of springs, filterings an atmospheric precipitation (snow, rain) and penetrations of pollution, processes of pollution of spring systems and algorithms of forecasting of their condition based on results of ecological monitoring are created.

Key words: *spring, ecological monitoring, water object, geographic information system, mathematical modeling, pollution*

---

*Tatiana Markina, Candidate of Biology, Assistant at the Ecology Department. E-mail: markina-ta88@mail.ru*  
*Sergey Bobyrev, Doctor of Technical Sciences, Professor at the Ecology Department. E-mail: param\_tr@mail.ru*  
*Elena Tikhomirova, Doctor of Biology, Professor, Head of the Ecology Department. E-mail: tichomirova\_ei@mail.ru*  
*Evgeniya Nikolaeva, Teacher of the Natural Science Disciplines. E-mail: nikolashki030508@mail.ru*