

## СТАТЬИ

УДК 528.9(571.56)

**ПРИМЕНЕНИЕ ГИС-ТЕХНОЛОГИЙ С ЦЕЛЬЮ ОПРЕДЕЛЕНИЯ  
ЗАТОПЛЕНИЯ В РЕСПУБЛИКЕ САХА (ЯКУТИЯ)****Андреев Д.В.***ФГБОУ ВО «Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова», Якутск,  
e-mail: verviL@List.ru*

В данной статье рассмотрены настоящее состояние и перспектива использования геоинформационных технологий (ГИС-технологии, ГИС-пакеты) на основе картографического метода в качестве средства прогнозирования и моделирования одной из острых проблем экологии и сферы чрезвычайных ситуаций Республики Саха (Якутия) – экстремальных гидрологических явлений – наводнений, вызываемых ежегодными паводками в период таяния снега. Представлена статистика последствий весенних половодий в регионе за последнее время для жилых, сельскохозяйственных объектов и объектов инженерно-технической инфраструктуры. Проанализированы текущий масштаб применения ГИС-технологий и стадия создания на их основе единой корпоративной информационной системы по водным и водохозяйственным объектам в Республике Саха (Якутия). Описаны геоинформационные компоненты информационно-моделирующей системы ГИС-пакета для прогноза наводнений и инструментарий ГИС-технологий для решения прогностических задач такого рода, а именно аппаратно-программные комплексы, которые обеспечивают сбор, обработку, отображение и распространение пространственно-координированных данных. Представлены достоинства ГИС-технологий при создании модели областей затопления, отличающие их от сложных методик математического моделирования: простота использования и возможность моделирования движения воды и его последствий при конкретном развитии событий (например, в зависимости от погодных условий). Наряду с этим описан и текущий недостаток большинства ГИС-пакетов – это недостаточность информативности выходных картографических данных моделирования, поскольку они представлены в двухмерном пространстве. В связи с этим предлагается использование 3D визуализации посредством использования программных средств ArcGIS для получения наиболее точной и детальной картины подтопления территорий Республики Саха (Якутия).

**Ключевые слова:** геоинформационные технологии, геоинформационное моделирование, IT-технологии, картографические данные, экологическая ситуация, паводок, наводнение, зона затопления

**APPLICATION OF GIS TECHNOLOGIES TO DETERMINE FLOODING  
IN THE REPUBLIC OF SAKHA (YAKUTIA)****Andreev D.V.***Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education «M.K. Ammosov North-Eastern  
Federal University», Yakutsk, e-mail: verviL@List.ru*

This article considers the present state and prospects of using geoinformation technologies (GIS-technologies, GIS-packages) based on the cartographic method as a means of forecasting and modeling one of the most acute problems of ecology and emergency situations of the Republic of Sakha – Yakutia) – extreme hydrological phenomena-floods caused by annual floods during snowmelt. The article presents the statistics of the consequences of spring floods in the region in recent years for residential, agricultural and engineering infrastructure. The current scale of application of GIS technologies and the stage of creation on their basis of a single corporate information system on water and water management facilities in the Republic of Sakha (Yakutia) are analyzed. The article describes the geoinformation components of the information modeling system GIS-package for flood forecasting and GIS-technology tools for solving predictive tasks of this kind, namely hardware and software systems that provide the collection, processing, display and distribution of spatially coordinated data. The advantages of GIS technologies in creating a model of flooding areas that distinguish them from complex methods of mathematical modeling are presented: ease of use and the ability to simulate the movement of water and its consequences in a particular development of events (for example, depending on weather conditions). Along with this, the current drawback of most GIS packages is the lack of information content of the output mapping data of the simulation, since they are presented in two-dimensional space. In this regard, it is proposed to use 3D visualization through the use of ArcGIS software to obtain the most accurate and detailed picture of the flooding of the territories of the Republic of Sakha (Yakutia).

**Keywords:** geoinformation technologies, geoinformation modeling, IT-technologies, cartographic data, ecological situation, flood, flood zone

В Республике Саха (Якутия) ежегодно присутствует большая опасность подтопления территорий и наводнения, которые вызываются весенним снеготаянием, что обостряет экологическую ситуацию региона. Данные экстремальные явления

являются одними из опаснейших стихийных бедствий, поскольку наносят республике огромный социально-экономический ущерб. В зоне затопления оказываются сельскохозяйственные и жилые объекты, а также объекты инженерно-технической

инфраструктуры. Для ликвидации этих негативных последствий требуются огромные финансовые вложения. Одно из наиболее эффективных средств купирования последствий таких природных явлений – это система раннего предупреждения. Прогнозирование и моделирование гидрологических явлений может быть обеспечено применением новых IT-технологий, одними из которых являются геоинформационные технологии (ГИС-технологии), основанные на картографическом методе.

Цель исследования: проанализировать перспективу использования ГИС-технологий как средства прогнозирования и моделирования одной из острых экологических проблем Республики Саха (Якутия) – наводнений, вызываемых ежегодными паводками в период весеннего снеготаяния.

#### **Материалы и методы исследования**

В ходе исследования были изучены фактические данные об остроте последствий наводнений в Республике Саха (Якутия), вызванных таянием снега в весенний сезон, и в связи с этим проанализирован вопрос об использовании возможностей использования ГИС-технологий в решении проблемы предупреждения данного природного явления с помощью моделирования паводка. С целью оптимизации процесса использования ГИС-технологий потребовалось сравнение 2D визуализации и 3D визуализации процессов затопления территорий.

#### **Результаты исследования и их обсуждение**

В Республике Саха (Якутия) во время весеннего половодья происходит затопление территорий, прилегающих к поймам рек. Данная проблема актуальна для региона ежегодно, поскольку является следствием естественных природных процессов. Однако в прошлом году ситуация значительно обострилась: в республике в связи с данным явлением вводился режим чрезвычайной ситуации.

Согласно официальным данным в Республике Саха (Якутия) в 2018 г. в зоне затопления оказалось 15 муниципальных образований и 45 населенных пунктов региона, было подтоплено множество жилых домов с общим количеством населения более 5,1 тыс. чел. Общая площадь зоны чрезвычайной ситуации составила более 19,6 тыс. чел. Временно отселено было свыше 4,8 тыс. чел, а также эвакуирова-

но более 4,5 тыс. голов скота [1, с. 37]. Для исключения возможности подобных масштабных последствий, которые наносят весенние паводки, требуется более эффективная система определения и прогнозирования наводнений в Республике Саха (Якутия).

Стратегические решения данной проблемы требуют внедрения и использования современных IT-технологий, а именно – ГИС-технологий, что обусловлено возможностями визуализации и географического анализа экстремальных гидрологических ситуаций, которые предоставляет электронная карта [2, с. 967].

ГИС-технологии – это быстрый и эффективный подход к осуществлению анализа проблем наводнений и применению автоматизации процедуры прогноза, что особенно актуально для территории Республика Саха (Якутия), которой присуща «редкая сеть гидрологических постов» [2, с. 967].

Надо отметить, что в целом применение ГИС-технологий для прогнозирования и моделирования природных явлений на сегодняшний день является далеко не редкостью, они достаточно распространены, при этом ежегодно разрабатываются все новые ГИС-пакеты, однако они используются для выборочных целей и задач.

На территории Республики Саха (Якутия) ГИС-технологии уже давно используются Государственным комитетом по геологии и недропользованию, научно-исследовательскими институтами. Однако до недавнего времени их применение присутствовало в процессе выявления закономерностей развития мерзлотных ландшафтов региона. Для диагностики же зон затопления на территории республики они применяются сравнительно недавно. При этом единая корпоративная информационная система по водным и водохозяйственным объектам на территории Республики Саха (Якутия), основанная на базе ГИС-технологий, находится в процессе своего создания [3].

Обычно представляется, что прогнозирование наводнений связано с применением сложнейших аналитических процедур и обработкой больших массивов статистических данных.

Действительно, для подобных прогнозов применяют графоаналитические методы (например, метод кривых добегаания) и математические модели (например, модель формирования талого стока), которые позволяют давать достаточно точный прогноз, но на практике даже он может быть

осложнен непредвиденным ухудшением погодных условий (аномальное количество осадков, экстремально низкие температуры и т.п.). Тогда первостепенным становится не прогнозирование наводнения, а оперативное моделирование движения воды и последствий подтоплений при развитии событий в реальном времени.

Для моделирования речного наводнения требуется большое количество информации. Необходимо знать, что происходит в русле и на пойме в зоне разливов, но, прежде всего, условия формирования большой воды на всей площади водосбора. Для этого надо иметь сведения о множестве гидрологических характеристик: снегозапасы и интенсивность снеготаяния, зоны осадков и интенсивность ливней, влажность почвы и характеристики почвогрунтов, величины испарения, виды растительности, время добега воды по склонам и в руслах и т.п. К тому же не разработана пока еще вполне обоснованная теория формирования речного стока. Тем не менее многие гидрологические прогнозы составляются и даже часто оправдываются. Для этого используют выявленные заранее региональные регрессии и эмпирические зависимости, основанные на учете одного или нескольких ведущих факторов, широко применяется метод аналогов [4].

Исчерпывающим инструментарием для решения таких задач обладают ГИС-пакеты, которые обеспечивают сбор, обработку, отображение и распространение пространственно-координированных данных. Отличительной чертой подобных ГИС-пакетов от трудоемких методик математического моделирования является достаточно простое создание модели зон затопления.

ГИС-технологии используются на этапе подготовки исходных данных для моделирования, а также при анализе результатов прогнозирования развития гидрологической обстановки на территории региона для определения потенциальных социальных и экономических последствий наводнений [5].

Геоинформационная компонента интегральной микросхемы предназначена для:

- сбора, хранения и графической визуализации пространственно-координированных данных и информации об объектах;
- формирования картографических представлений результатов оценки территории по степени опасности затопления;
- графического отображения результатов расчетов, выполненных моделирующими блоками;

- управления геоинформационными объектами и слоями (публикации, группировки, доступа, отображения слоев и атрибутивной информации).

Весь процесс анализа с использованием ГИС-технологий упрощенно можно разбить на три этапа [6]:

- подготовку данных;
- моделирование зон затопления;
- оценку последствий.

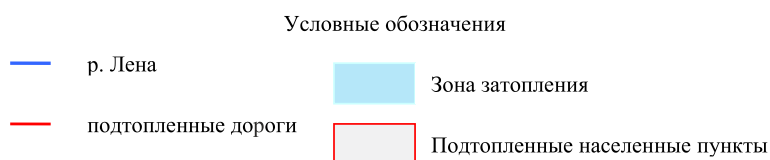
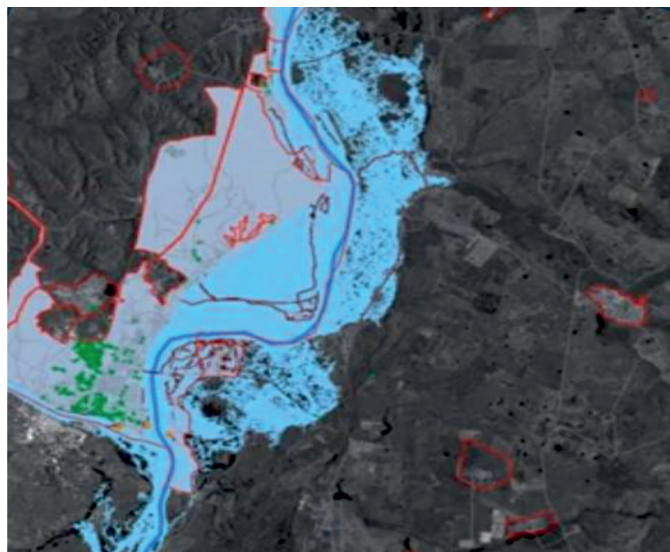
С первым и третьим этапом справляются практически все ГИС-пакеты, то есть их возможностей вполне достаточно для этих функций, а вот моделирование затопления территорий чаще всего вызывает определенные трудности. Тем более что для прогнозирования речных подтоплений просто пересечение зеркала водной поверхности и рельефа не может полностью решить вопрос, так как для любой реки имеет место быть неравномерный гидравлический уклон и, следовательно, зеркало речной поверхности тоже должно быть в определенном виде наклонено.

Вообще, на сегодняшний день используется два подхода к моделированию наводнения: геометрический и гидродинамический.

Геометрический подход – определение границ водной поверхности посредством сопоставления наклонного уровня воды (уровень реки плюс уровень подъема воды) и высоты рельефа. Из этих границ формируется полигон зоны затопления и определяется его глубина. Однако данный подход представляет довольно статичную картину происходящего, так как не учитывает предыдущее состояние поверхности суши, а также не предоставляет возможности оценить скорость и направления течений [4].

В связи с этим и возник второй подход – гидродинамический, который использует систему дифференциальных уравнений (так называемые уравнения мелкой воды), с помощью которых определяются потоки воды в режиме и пространства, и времени. Конечно, второй подход обеспечивает более точное решение, однако требует глубоких гидрологических изысканий для получения необходимой информации о характеристиках поверхности и гидрологических зависимостях, а также является и очень ресурсозатратным.

В целом конечно, в гидродинамике используют и двумерные модели, и трехмерные модели, а также их комбинации, однако разница между ними довольно значительная.



*Рис. 1. Фрагмент карты зон затопления Республики Саха (Якутия) посредством 2D моделирования*

Основная идея 2D моделирования зон затоплений – это построение определенного количества наклонных плоскостей для описания пересечения поднявшейся водной поверхности и модели рельефа местности, то есть при данном моделировании зона затопления формируется за счет сопоставления уклона зеркала поднявшейся реки и местного рельефа. Важно отметить, что 2D моделирование зон затоплений возможно на небольших участках [6].

В целом такой подход дает возможность с использованием электронных карт территории Республики Саха (Якутия) построить зону затопления (рис. 1).

Надо отметить, что 2D моделирование позволяет смоделировать зону подтопления сравнительно за непродолжительное время и с приемлемой достоверностью [6]. Однако данный подход, хоть и реализуется во многих ГИС-пакетах, но часто является малоинформативным с точки зрения определения затопления. Зачастую, кроме трехмерного географического измерения смотря (долгота, широта, высота), для точного определения наносимого ущерба объектам в зоне затопления, необходима дополнительная информация: соотношение

поднятия воды и расположения потенциально возможных затопляемых объектов.

Соответственно, для получения полной детальной картины затопления территорий требуется комплексный подход, учитывающий сразу все перечисленные аспекты, который обеспечивается 3D визуализацией. В качестве программных средств, отвечающих этой задаче, следует рассмотреть ArcGIS, которая сочетает возможности геопространственного анализа и 3D-визуализацию [6].

Большим преимуществом ArcGIS в отличие от других ГИС-пакетов является возможность использования программы не только при моделировании небольших участков территории затопления, но и при моделировании на всей протяженности зоны затопления. Данный пространственный анализ может быть осуществлен, например, с помощью результатов LIDAR-съемки (дистанционное зондирование посредством лазеров). Другими словами, кроме традиционной карты местности ArcGIS позволяет получить более содержательное и информативное изображение под названием «сцена» – максимально реальное 3D-представление местности (рис. 2).



Рис. 2. Фрагмент модели 3D-сцены зоны наводнения Республики Саха (Якутия)

Кроме максимальной визуализации, протяженного пространственного анализа и диагностики пересечений зеркала поднявшейся реки и местного рельефа, еще одно важное преимущество 3D моделирования зон затоплений – это возможность интеграции 3D-сцен, полученных в ArcGIS, и картографических веб-порталов с целью получения веб-сцен, которые могут максимально оперативно использоваться для пользовательского анализа.

### Выводы

Различные подходы к представлению результатов моделирования зон затопления с помощью ГИС-технологий делают противопаводковые мероприятия более наглядными и эффективными. В результате такого моделирования создается достаточно полная и гибкая геоинформационная поддержка принятия решений в условиях чрезвычайной ситуации. Поэтому применение ГИС-технологий с целью определения затопления в Республике Саха (Якутия) должно стать стратегически важной необходимостью. При этом для большей точности и детализации информации о наводнении необходимо использовать не подход 2D визуализации, а 3D визуализацию процессов затопления территорий, поскольку она не только описывает пересечения зеркала поднявшейся речной поверхности и цифровой моделью местности на небольших участках, но и соотношение двух разных высот: поднятия воды и расположения потенциально возможных затопляемых объектов на всей протяженности пространственного анализа.

### Список литературы / References

1. Государственный доклад «О состоянии защиты населения и территорий Российской Федерации от чрезвычайных

ситуаций природного и техногенного характера в 2018 году». М.: МЧС России. ФГБУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ), 2019. 344 с.

State report «On the state of protection of the population and territories of the Russian Federation from natural and man-made emergencies in 2018». M.: MChS Rossii. FGBU VNI GOChS (FCz), 2019. 344 p. (in Russian).

2. Ноговицын Д.Д., Шеина З.М., Сергеева Л.П. Применение ГИС-технологий при определении зоны затопления в Якутии // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2010. Т. 12. № 1–4. С. 967–969.

Nogovicyn D.D., Sheina Z.M., Sergeeva L.P. Application of GIS-Technologies in determining the flooding zone in Yakutia // Izvestiya Samarskogo nauchnogo centra Rossijskoj akademii nauk. 2010. V. 12. № 1–4. P. 967–969 (in Russian).

3. Постановление Правительства Республики Саха (Якутия) от 27 мая 2010 года № 253 Об утверждении Концепции защиты населенных пунктов и объектов экономики Республики Саха (Якутия) от наводнений и других видов негативного воздействия вод. [Электронный ресурс]. URL: <http://docs.cntd.ru/document/815003558> (дата обращения: 11.10.2019).

Resolution of the Government of the Republic of Sakha (Yakutia) of may 27, 2010 № 253 about the approval of the Concept of protection of settlements and objects of economy of the Republic of Sakha (Yakutia) from floods and other types of negative impact of waters. [Electronic resource]. URL: <http://docs.cntd.ru/document/815003558> (date of access: 11.10.2019).

4. Усачев В.Ф., Бурда Н.Ю. Наводнения и геоинформационные технологии / Государственный гидрологический институт. [Электронный ресурс]. URL: <http://old.hydrology.ru/depart/dep/lgis/literature/28.pdf> (дата обращения: 11.10.2019).

Usachev V.F., Burda N.Yu. Floods and Geoinformation technologies / Gosudarstvenny' j gidrologicheskij institute. [Electronic resource]. URL: <http://old.hydrology.ru/depart/dep/lgis/literature/28.pdf> (date of access: 11.10.2019) (in Russian).

5. Новаковский Б.А., Колесникова О.Н., Прасолова А.И. Геоинформационное моделирование наводнений по материалам космической съемки (на примере г. Бийск, Алтайский край) // Геоинформатика. 2015. № 1. С. 15–20.

Novakovskij B.A., Kolesnikova O.N., Prasolova A.I. Geoinformation modeling of floods on materials of space survey (on the example of Biysk, Altai Krai) // Geoinformatika. 2015. № 1. P. 15–20 (in Russian).

6. Стахан Т.Н. Моделирование наводнений с использованием геоинформационных систем (ГИС) // Студенческий форум. 2019. № 2 (73). [Электронный ресурс]. URL: <https://nauchforum.ru/journal/stud/73/54767> (дата обращения: 11.10.2019).

Staxan T.N. Flood modeling using geographic information systems (GIS) / Studencheskij forum. Студенческий форум. 2019. № 2 (73). [Electronic resource]. URL: <https://nauchforum.ru/journal/stud/73/54767> (date of access: 11.10.2019) (in Russian).