

ДМИТРИЕВ П. С., ЖУМАГУЛОВ Ж., ТЕСЛЕНОК С. А., ФОМИН И. А., ШУРР А. В.¹
ПРОГНОЗ ЗАТОПЛЕНИЯ ТЕРРИТОРИИ ПРИ РАЗНОУРОВНЕВОМ ПОДЪЕМЕ
ПАВОДКОВЫХ ВОД ПОСРЕДСТВОМ ГИС-ТЕХНОЛОГИЙ

Аннотация. В статье представлены результаты использования прогнозной модели подтопления и затопления территории урочища «Вороний остров» в пригородной зоне города Петропавловска Северо-Казахстанской области при разном уровне паводковых вод. Работы выполнены с использованием ГИС Спутник.

Ключевые слова: паводок, разноуровневый подъем, подтопление, затопление, геоинформационные технологии, 3D-моделирование, гидрологическое моделирование, Республика Казахстан.

DMITRIEV P. S., ZHUMAGULOV ZH., TESLENOK S. A., FOMIN I. A., SHURR A. V.
APPLICATION OF GIS TECHNOLOGY FOR FORECASTING
OF FLOODING AREA AT MULTI-LEVEL RISE OF FLOODWATERS

Abstract. The article presents the results of using the predictive model of underflooding and flooding of the territory of the “Voroniy Ostrov” tract in the suburban area of the city of Petropavlovsk in North Kazakhstan region with different levels of floodwaters. The study is carried out with the use of GIS Sputnik.

Keywords: flood, multi-level rise, underflooding, flooding, geoinformation technologies, 3D modeling, hydrological modeling, Republic of Kazakhstan.

В водохозяйственном комплексе Казахстана одной из наиболее острых проблем является вредное воздействие поверхностных вод – наводнения, затопления и подтопления населенных пунктов и объектов экономики. Ежегодно затоплению подвергаются сотни квадратных километров территорий; наводнениям с катастрофическими последствиями подвержены территории сотен сельских и городских населенных пунктов, значительные площади сельскохозяйственных угодий, большое количество хозяйственных и инфраструктурных объектов. Паводкоопасными регионами в республике являются Центральный, Северный и Восточный Казахстан. Наводнения занимают первое место среди стихийных бедствий по числу жертв и причиняемому ущербу. Для защиты от них применяют меры, позволяющие уменьшить прямые и косвенные потери. Сопутствующим негативным фактором подъема паводковых вод является ухудшение качества питьевой воды.

¹ Выполнено при поддержке РФФИ (проект № 19-05-00066 «Пространственно-временные закономерности инновационного развития сельского хозяйства регионов России»).

Для создания и апробирования прогнозной модели подтопления территории при разном уровне паводковых вод была выбрана территория урочища «Вороний остров» вблизи г. Петропавловска Северо-Казахстанской области.

Основным аспектом повышения уровня паводковых вод и, как следствие, подтопления и затопления территории «Вороньего острова» являются физико-географические и климатические особенности. Внутриматериковое положение области в зоне умеренных широт Евразии, где процессы климатообразования обусловлены господством умеренных воздушных масс, определяет и особенности климата района исследования. В Северо-Казахстанской области он резко континентальный с особенностями внутригодового хода температуры воздуха и изменения количества осадков, показанными на рис. 1.

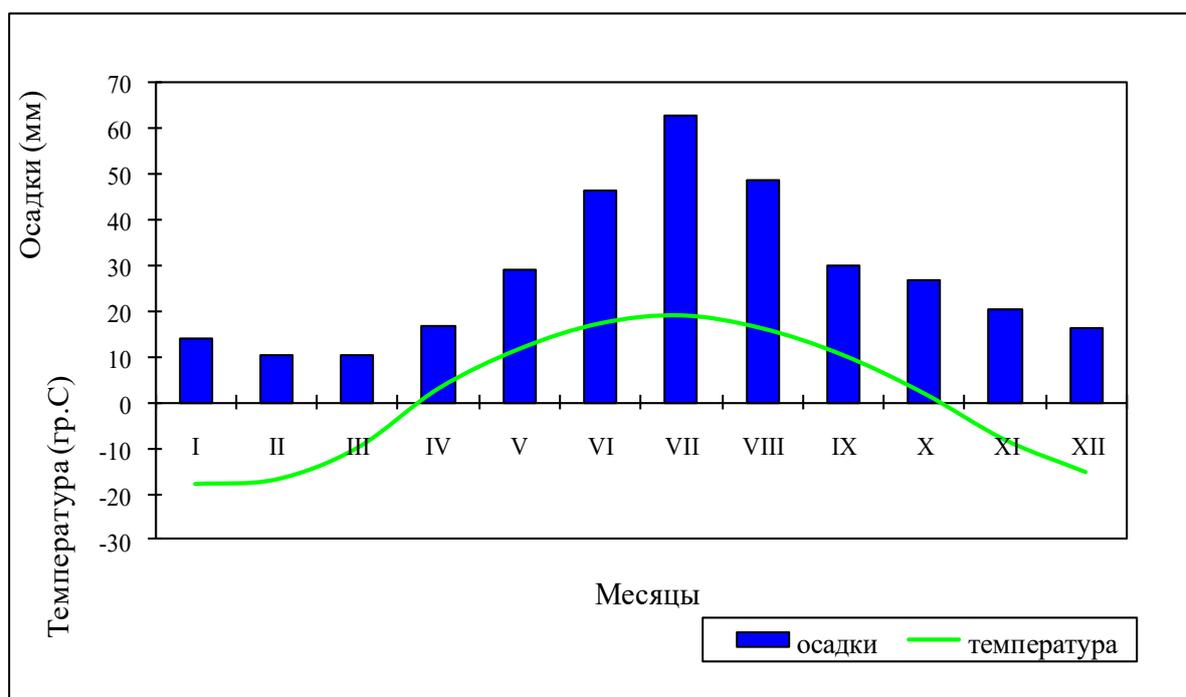


Рис. 1. График внутригодового хода температуры воздуха (°C) и количества осадков (мм) (по данным ГМС Петропавловск).

Среднегодовое количество осадков около 350 мм, распределены они по территории области относительно равномерно. В теплую половину года (апрель – октябрь) выпадает до 80–85% годовой нормы с максимум в июле (60 мм). На холодный период года (ноябрь – март) приходится 15–20% годового количества осадков с минимумом в январе – марте (от 10 до 20 мм в каждом месяце). Снежный покров устойчивый, со средней мощностью к концу зимы около 25 см, лежит около 5 месяцев, с ноября по март.

С 1936 г. количество лет с осадками более 400 мм составило 20 (1942, 1946, 1964, 1966, 1969, 1970, 1971, 1977, 1979, 1988, 1990, 1993, 1994, 2001, 2002, 2006, 2007, 2011, 2013, 2016 гг.). За указанный период произошло повышение температуры воздуха и увеличение количества осадков. Так, если за 1939–1946 гг. среднегодовая температура воздуха составляла $+0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$, то в течение 1985–1994 гг. она возросла до $+1,8\text{ }^{\circ}\text{C}$, а осредненные суммы осадков увеличились соответственно с 300 до 378 мм. В последние годы (2015 г.) осредненные суммы количества осадков увеличились до 555,7 мм, а среднегодовая температура воздуха возросла до $2,75\text{ }^{\circ}\text{C}$ (2016 г.). Эти данные согласуются с результатами исследований, ранее проведенных для данного региона [7].

Таким образом, резко континентальный климат Северо-Казахстанской области характеризуется определенным температурным режимом, скоростью и направлением ветра, количеством осадков, которые в свою очередь создают условия для специфического гидрологического режима р. Ишим и весеннего подъема паводковых вод [1].

Материал и методы исследования. Каналы сбора материала и методы его обработки разнообразны.

1. Работа с картографическим материалом включала использование карты г. Петропавловска масштаба 1:50 000. Дополнительно привлекались космические снимки (см. рис. 2), имеющиеся в открытом доступе на ресурсах Google Earth. На базе картографических основ при помощи геоинформационной системы (ГИС) MapInfo получены картосхемы рекреационных объектов соснового бора урочища «Вороний остров» пригородной зоны г. Петропавловска (см. рис. 3). Использовалась и доступная в сети Интернет система визуализации многомерных геопространственных данных ГИС Спутник [2].

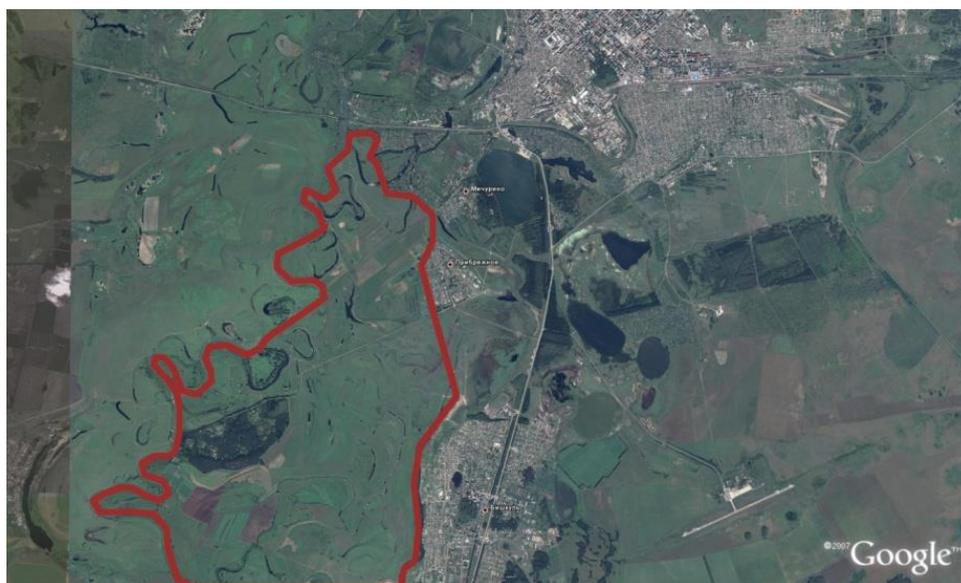


Рис. 2. Космический снимок территории урочища «Вороний остров».

2. Обработка фондовых материалов и отчетов различных организаций.

3. Полевые исследования, заключающиеся в экскурсионно-визуальных наблюдениях на территории «Вороньего острова» с фотографированием объектов рекреации.



Рис. 3. Схема расположения туристских баз соснового бора.

На рассматриваемой территории урочища, располагающейся на севере Казахстана, а в геоморфологическом отношении – на юге Западно-Сибирской равнины, на берегах одной из крупнейших рек республики – Ишима, можно выделить несколько групп природных и социальных рекреационных объектов: собственно долина р. Ишим, многочисленные старичные озера и пруды, туристические базы и базы отдыха, зеленые насаждения. Знание современного экологического состояния рекреационных объектов поможет не только поддержать и его, и его значимость в экономике региона [6] на существующем уровне, но и задать более высокую планку, включая периоды подъема паводковых вод.

Река Ишим на территории «Вороньего острова» славится своими живописными берегами, хорошими песчаными пляжами и незабываемой красотой природного ландшафта. Для описываемого отрезка долины характерна невысокая пойма, имеющая относительную высоту в пределах 3–6 м.

Группа озер на территории «Вороньего острова» в основном старичного типа и самой разнообразной формы, но чаще – серповидной или близкой к ней (см. рис. 2). Все они имеют большое рекреационное значение, являясь важнейшими местами отдыха не только жителей

г. Петропавловска, но и близлежащих населенных пунктов – поселков Бишкуль, Прибрежное, Мичурино.

Туристические базы на территории «Вороньего острова» расположены на участке соснового бора площадью 234 га и имеют развитую рекреационную инфраструктуру, сеть оздоровительных объектов и шоссейные дороги с твердым покрытием. Из восьми рекреационных объектов круглогодично функционируют четыре: турбазы «Сосновый бор», «Кызыл Жар», «Волна», «Greenwood» (см. рис. 3) [3].

Учитывая потенциальную опасность подтопления и затопления исследуемой территории как значимого рекреационного объекта, имеющего важное социально-экономическое значение и повышающего степень социальной комфортности проживания населения [6], было решено использовать современные ГИС и геоинформационные технологии для создания 3D-модели на примере территории урочища «Вороний остров». В таких условиях гидрологическое моделирование (наряду с геоинформационным) становится все более важным инструментом для управления водными ресурсами региона. Полученные результаты используются для прогнозирования стока, наводнений, определения зон подтоплений и затоплений, проектирования водно-технических сооружений и т.п. Модель может предсказать, где и когда возможен риск подтопления и затопления при разливе реки, для того чтобы обеспечить своевременную эвакуацию с этих территорий. После завершения наводнения и ликвидации его последствий созданная гидрологическая модель может быть использована и в дальнейшем: для количественной оценки риска, определения потенциальной угрозы наводнений подобной или большей амплитуды в ближайшие годы, принятия решений по определению мер защиты от наводнений в будущем. Кроме того, такая модель позволяет понять причины наводнений, выявить роль антропогенного фактора в их формировании, принять оперативные меры по снижению материального ущерба, помочь в разработке оперативных мер по уменьшению техногенной нагрузки на конкретном водосборе [4; 9; 10], способствуя росту комфортности проживания населения [6].

Одной из наиболее интересных в научном и практическом плане является задача расчета зон затопления при наводнениях и паводках. Необходимо не только рассчитать, но и отобразить на карте территории зон затопления в зависимости от разных уровней воды в контрольных створах. Основным способом определения районов затопления в период паводков и половодий является построение наклонных поверхностей, наиболее близко описывающих зеркало поднявшейся воды, и в дальнейшем – определение линий пересечения этих поверхностей с цифровой моделью местности [4; 8; 10].

В результате выполнения данной работы была получена ГИС-модель поймы реки Ишим в пределах территории урочища «Вороний остров». Полученные численные

характеристики водосбора реки (уклон поверхности, экспозиция склонов, показатели заболоченности, лесистости и озерности, значение среднегодовой температуры воздуха и количества осадков) являются хорошей базой для практического применения гидрологической модели. Так как река Ишим недостаточно представлена в результатах гидрометрических наблюдений, создание геоинформационной гидрологической модели позволяет восполнить имеющиеся пробелы, а также с высокой точностью осуществлять прогнозирование затопления территории при пошаговом поднятии уровня воды в реке на каждый метр. Это в свою очередь дает возможность точно спрогнозировать зоны затопления в зависимости от уровня воды, чтобы вовремя принять необходимые меры.

При построении 3D-модели урочища «Вороний остров» использовались возможности ГИС Спутник ГК «Геоскан», использующей базовые покрытия Landsat, Bing и OpenStreetMap, поддерживающей форматы KML, KMZ, TLS, GeoTIF и идеально подходящей для просмотра данных с беспилотных летательных аппаратов. Базовые покрытия ГИС дают возможность интегрировать пользовательские данные в единое геоинформационное пространство. Поддержка протокола WMS (предназначенного для передачи координатно привязанных растровых изображений, генерируемых картографическим сервером на основе данных из произвольных хранилищ посредством сети Интернет с использованием HTTP протокола) позволяет подключать тематические слои с серверов, поддерживающих стандарт OGC – Открытого геопространственного консорциума. Основной формат, используемый ГИС Спутник, – KML, который дает широкие возможности визуализации 3D-объектов и тематических слоев в режиме реального времени. Функциональные возможности программы позволяют на поверхности цифровой модели рельефа (ЦМР) (местности (ЦММ)) измерять длины и расстояния; рассчитывать уклоны, превышения, горизонтальные проложения; определять высоты, площади, объемы и их разности; рассчитывать объемы земляных работ от уровенной поверхности; осуществлять преобразование ЦММ в ЦМР с помощью кригинг-интерполяции и мониторинг изменений ЦМР (ЦММ); редактировать геометрию в KML (включая логические операции); строить продольные и поперечные профили; получать карты изогипс, уклонов, TIN-модели и моделировать процессы затопления территории [2].

В ГИС-модели, полученной на основе ГИС Спутник, поддерживается сценарное управление, заключающееся в том, что программно рассчитывается набор готовых сценариев затопления территории (см. рис. 4), из которых при угрозе возникновения и развития чрезвычайной ситуации выбирается наиболее близкий.

Прогнозирование площади затопления исследуемой территории производилось при условии пошагового подъема уровня воды на каждый метр (см. рис. 4). В результате мы видим, что при поднятии уровня всего на 2,0 м туристические базы «Вороньего острова» уже

будут отрезаны от внешнего мира, так как дороги, ведущие к сосновому бору, будут затоплены (см. рис. 4, а). При поднятии уровня на 4,0 м сосновый бор с расположенными в нем туристскими базами оказывается островом (окружен водой со всех сторон) (см. рис. 4, б). Прогнозное затопление территории «Вороний остров» при поднятии уровня воды на 11,0 м показано на рис. 4, в, на 12,0 м – на рис. 4, г.

Таким образом, для того чтобы и сам Сосновый бор «Вороньего острова» оказался затопленным полностью, необходимо поднятие уровня паводковых вод на 12,0 м. Максимальное же за последние годы поднятие наблюдалось весной 2017 г., когда 6 мая на Петропавловском водохранилище был зафиксирован пик подъема воды за период паводка – 9 м 57 см.

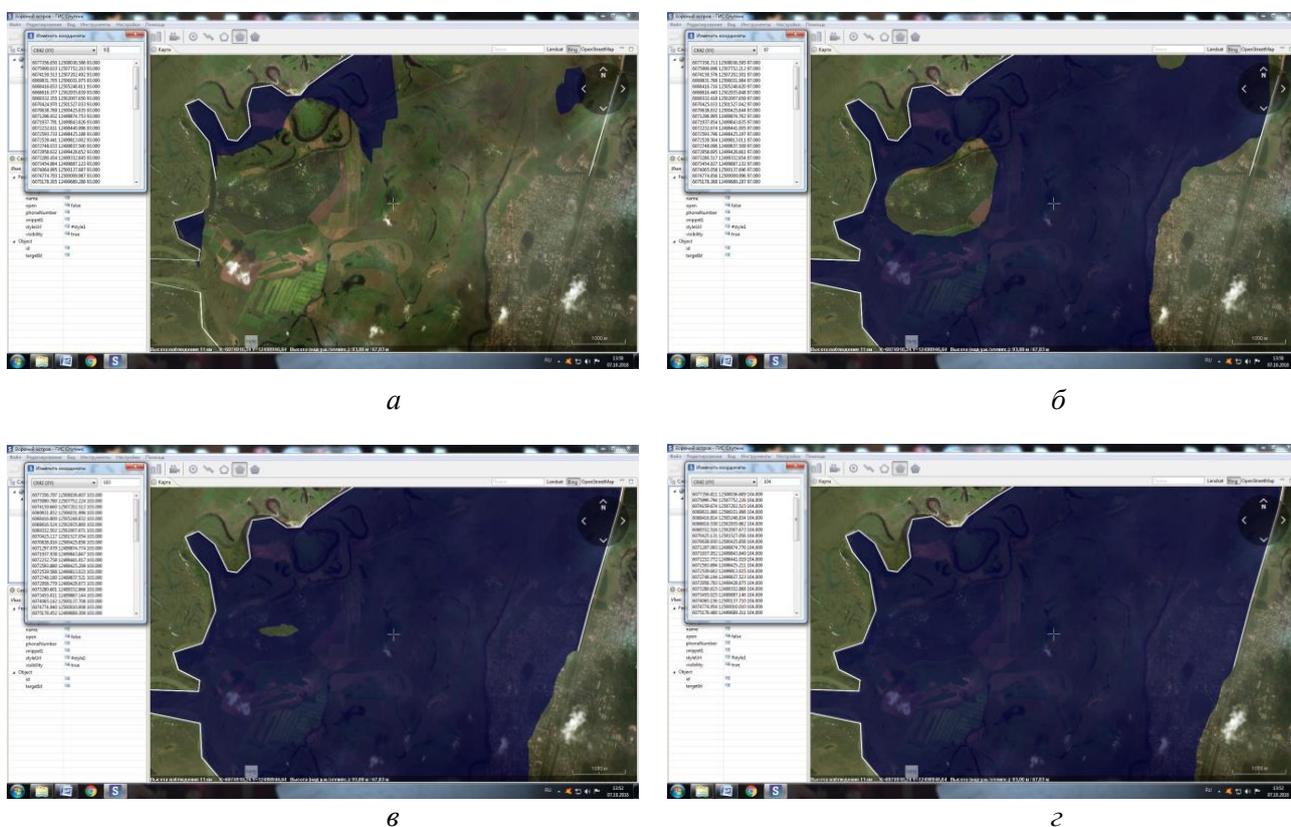


Рис. 4. Сценарное управление чрезвычайной ситуацией при затоплении территории «Вороньего острова».

По результатам выполненного исследования можно сделать следующие выводы.

1. Использование современных геоинформационных технологий и методов обработки данных дистанционного зондирования Земли позволяет собирать, хранить и обрабатывать пространственную и атрибутивную информацию, представлять ее в удобном наглядном виде для последующего анализа и принятия соответствующих управленческих решений, связанных со снижением негативных воздействий паводков на все отрасли экономики.

2. Резко континентальный климат Северо-Казахстанской области характеризуется определенным температурным режимом, скоростью и направлением ветра, количеством осадков, которые в свою очередь создают условия, в том числе для специфического гидрологического режима р. Ишим, приводящего к возникновению резкого весеннего подъема паводковых вод. Паводковые воды отрицательно влияют на качество воды, используемой инфраструктурой урочища «Вороний остров».

3. В процессе выполнения работы было проанализировано большое количество геоинформационных систем, находящихся в открытом доступе в сети Интернет, включая возможность их использования для прогнозирования площади затопления изучаемых территорий при разных значениях подъема уровня паводковых вод. В результате была выбрана и на примере рекреационной территории урочища «Вороний остров» апробирована ГИС Спутник. С ее помощью была построена 3D-модель территории урочища. Модель наглядно продемонстрировала возможности прогнозирования площади затопления исследуемой территории при различных уровнях подъема паводковых вод.

ЛИТЕРАТУРА

1. Белецкая Н. П., Бобровский В. В. Река Ишим и ее хозяйственное значение: учеб.-метод. пособие для учителей и студентов. – Петропавловск: Поиск, 1989. – 36 с.
2. ГИС Спутник: система для визуализации многомерных геопространственных данных [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.geoscan.aero/ru/software/sputnik/gis> (дата обращения 22.11.2018).
3. Дмитриев П. С., Фомин И. А., Куприна О. С. Современное состояние экологического туризма в Республике Казахстан, его развитие в Северном регионе // Экол. мониторинг и биоразнообразие. – 2013. – № 1. – С. 106–109.
4. Калинин В. Г., Пьянков С. В. Некоторые аспекты применения геоинформационных технологий в гидрологии // Метеорология и гидрология. – 2000. – № 12. – С. 71–78.
5. Семина И. А., Уварова О. Н. Туризм в экономике региона // Материалы XIV научной конференции молодых ученых, аспирантов и студентов Мордовского государственного университета им. Н. П. Огарева. – Саранск: Изд-во Мордов. ун-та, 2010. – С. 200–201.
6. Скворцова М. А., Долгачева Т. А., Ивлиева Н. Г., Манухов В.Ф., Аникин В. В. К вопросу оценки социальной комфортности проживания населения в регионе // Изв. Смол. гос. ун-та. – 2014. – № 3 (27). – С. 230–238.

7. Тесленок С. А., Тесленок К. С., Кашин И. Ю. Изменения важнейших климатических характеристик Северного Казахстана в целинный и постцелинный периоды агроландшафтогенеза // Региональные эффекты глобальных изменений климата: Материалы Междунар. науч. конф. (Воронеж, 26–27 июня 2012 г.). – Воронеж: Науч. кн., 2012. – С. 550–553.
8. Dueker K. J. Geographic information systems and computer-aided mapping // Journal of American Planning Association. – 1987. – Vol. 53. – No. 3. – P. 384–390.
9. Rhine Flood Hazard Mitigated with the Help of GIS [Электронный ресурс] // ArcNews Fall 2002 Issue. – Режим доступа: <https://www.esri.com/news/arcnews/fall02articles/rhine-flood-hazard.html> (дата обращения 22.11.2018).
10. Spence C., Dalton A., Kite G. GIS Supports Hydrological Modeling // GIS World. – 1995. – Vol. 1. – P. 62–66.