

УДК 528.92:627.222.23(571.642)  
DOI: 10.33764/2411-1759-2021-26-2-115-126

## ГЕОИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ЗОН ЗАТОПЛЕНИЙ НА ЮГЕ САХАЛИНА

*Алексей Александрович Верхотуров*

Институт морской геологии и геофизики Дальневосточного отделения Российской академии наук, 693022, Россия, г. Южно-Сахалинск, ул. Науки, 1Б, кандидат технических наук, старший научный сотрудник Центра коллективного пользования, e-mail: ussr-91@mail.ru

*Вячеслав Анатольевич Мелкий*

Институт морской геологии и геофизики Дальневосточного отделения Российской академии наук, 693022, Россия, г. Южно-Сахалинск, ул. Науки, 1Б, доктор технических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории вулканологии и вулканопасности, e-mail: vamelkiy@mail.ru

Современные системы гидрометеорологического мониторинга в большинстве своем широко используют инструментарий ВЕБ- и ГИС-технологий. Территориальная разобщенность подразделений Всемирной метеорологической организации (ВМО), Росгидромета, Российской академии наук и иных служб и ведомств, заинтересованных в получении данных, требует создания единой информационной среды для обмена разнородными сведениями. Формирование поля для геопространственных данных стало возможным при наличии платформ промышленного образца, с высокой производительностью, поддерживающих стандартные форматы обмена данными, пригодных для наращивания системы. Цель исследования – разработка требований к геоинформационному обеспечению системы, необходимой для прогнозирования затоплений. Методы: геоинформационное картографирование, дешифрирование и анализ данных дистанционного зондирования Земли. При разработке системы гидрологического мониторинга рек юга Сахалина использовался опыт эксплуатации подобной наблюдательной сети в службах ряда европейских стран, а также территориально-распределенных ГИС, созданных Росгидрометом. Учитывая большой опыт предшественников, разработаны требования к геоинформационному обеспечению, необходимому для прогнозирования зон затопления на реках юга Сахалина. Исходными данными для создания корректной модели наводнений являются космические снимки, крупномасштабные топографические карты, цифровые модели рельефа, данные многолетних гидрометеорологических наблюдений и результаты инженерных изысканий. Расчеты зон затопления необходимо заверять по космическим снимкам после сильных наводнений, которые происходят при определенных уровнях, измеренных на гидромерных постах.

**Ключевые слова:** геоинформационное обеспечение, дешифрирование аэрокосмических изображений, тематическое картографирование, топографические карты, цифровая модель рельефа, затопление, наводнение, водосборный бассейн

### *Введение*

Наводнения являются одним из самых опасных природных явлений. В России проблема наводнений весьма актуальна. Ежегодно на территории страны происходит до 70 крупных наводнений, которые затопляют около 500 тыс. км<sup>2</sup>. Последствия наводнений влекут болезни, голод, а также экологические проблемы.

На Дальнем Востоке сильные наводнения происходят в среднем каждые три года, крупные – каждые 20 лет. Самое разрушительное из них вызвано тайфуном «Филлис», который

прошел над территорией в начале августа 1981 г. Перед прохождением тайфуна из Китая 2 и 3 августа над Приморским краем прошел циклон, который отметился сильными дождями.

Моделированием отдельных процессов динамики речного стока в середине прошлого века занимались многие специалисты-гидрологи. Были разработаны методики предвычисления гидрографа весеннего половодья [1], нахождения кривой распределения для пиковых расходов снегового половодья [2], расчета паводкового стока [3], анализа и прогноза весеннего половодья рек [4]. Эти методические наработки определили состав пер-

вой модели формирования дождевого стока (Стенфордская модель) [5].

Позднее были созданы модели талого стока и стока за весь гидрологический цикл. Зарубежный и отечественный опыт гидрологического моделирования обобщен в монографии Л. С. Кучмента [6]. К настоящему времени создано много моделей речного стока, которые обеспечивают гидрологические расчеты и прогнозы [7–10].

С развитием геоинформационных технологий в 90-х гг. XX в. в гидрологии и в управлении водными ресурсами начали применяться пакеты ArcView, Arc/Info и др. [11]. Геоинформационные системы используются для комплексирования различной гидрометеорологической информации, создания и анализа цифровых моделей рельефа (ЦМР), определения положения русел водотоков, моделирования стока, оценки устойчивости склонов и риска проявления геоморфологических процессов, моделирования загрязнения подземных вод и других задач [12–15]. Интеграция ГИС-технологий и данных гидрометеорологического мониторинга успешно реализуется в открытых распределенных информационных системах, несущих оперативную информацию о характере стока в режиме реального времени [16–20].

В качестве оперативных исходных данных для мониторинга паводков и наводнений обширных территорий целесообразно применять космические снимки, а в качестве инструментария для их обработки использовать геоинформационные системы (ГИС), которые позволяют оперативно создавать модели затопления при подъеме уровня воды в реках.

Как правило, инженерно-гидрометеорологические изыскания завершаются сравнением расходов исследуемой реки с таковыми на изученных реках-аналогах. Характерной рекой для юга Сахалина является Лютога. Основные ее характеристики изучались для формирования требований к ГИС наводнений.

### **Материалы и методы исследования**

Для качественного насыщения геоинформационной системы (ГИС) требуется применение достоверных пространственно-определенных данных.

Использование цифровых моделей рельефа (ЦМР) обязательно при создании гидрологических моделей. Для создания ЦМР необходимы крупномасштабные топографические карты, аэрокосмические снимки, спутниковые системы позиционирования, нивелирования и др. Доступные модели рельефа Земли ETOPO, GTOPO, SRTM и ASTER успешно применяются для целей гидрологического моделирования, но по причине высокой погрешности вертикальной привязки поверхности они непригодны для прогнозирования зон затопления. В то же время имеются ЦМР более высокого разрешения, предлагаемые для коммерческого использования. Так, например, стерео- и тристереоданные со спутников Pleiades позволили создать ЦМР Elevation1, которая является высокоточной моделью рельефа с шагом ячейки 1 м и вертикальным разрешением 1,5 м [21]. Локальную модель местности можно создать с большей точностью, применив трудоемкие методы тригонометрического нивелирования [22].

В последнее время для создания высокоточных ЦМР стали использовать данные съемок с беспилотных летательных аппаратов (БПЛА). При создании модели рельефа при помощи БПЛА DJI Phantom 4 RTK совместно с геодезическим ГНСС RTK приемником обеспечивается точность 2–7 см [23].

В качестве данных ДЗЗ можно использовать общедоступные изображения со спутников Landsat и Sentinel, которые позволяют оперативно подготовить информацию о геолого-геоморфологических условиях, состоянии почвенно-растительного покрова, которые указывают на наличие грунтовых вод и позволяют оценить их динамику. Мониторинг указанных факторов позволяет определить зоны скопления запасов приповерхностных грунтовых вод, выявить места их просачивания на поверхность по наличию родников и распространению гидрофильной растительности. По многозональным снимкам определяется ландшафтные формы, позволяющие выявить наличие грунтовых вод в скрытых руслах, аллювиальных конусах и других наносах.

Для составления достоверных прогнозов необходимы данные гидрометеорологических

исследований, а именно – сведения о гидрологическом режиме водных объектов, климатических и метеорологических параметрах, информация о проявлениях опасных гидрометеорологических процессов, техногенных изменениях гидрологических и климатических условий.

**Исходные данные геоинформационной системы**

Для прогноза опасности наводнения в ГИС необходимо вводить данные по границам затопления при различных уровнях воды и данные о степени хозяйственного освоения территории, характеризующие уязвимость объектов промышленного и гражданского назначения. Базы данных (БД) ГИС должны содержать картографические материалы в растровом и векторном виде, а также семантическую ин-

формацию по объектам картографирования. Картографическая основа ГИС-проектов состоит из топографических карт и планов.

Интеграция данных ДЗЗ в геоинформационные системы позволяет получать границы затопления в векторном представлении, производить расчет площадей затопления территорий, строить модели развития весеннего половодья (рис. 1). После фиксации по материалам космической съемки зеркала затопления при различных уровнях воды на гидропосту участка ответственности в дальнейшем не будет необходимости в регулярном приеме спутниковой информации. Зоны затопления и площади можно будет выбирать из базы данных уровней, зафиксированных на гидропостах. Это позволит значительно сэкономить средства и повысить оперативность прогноза затопления территорий.

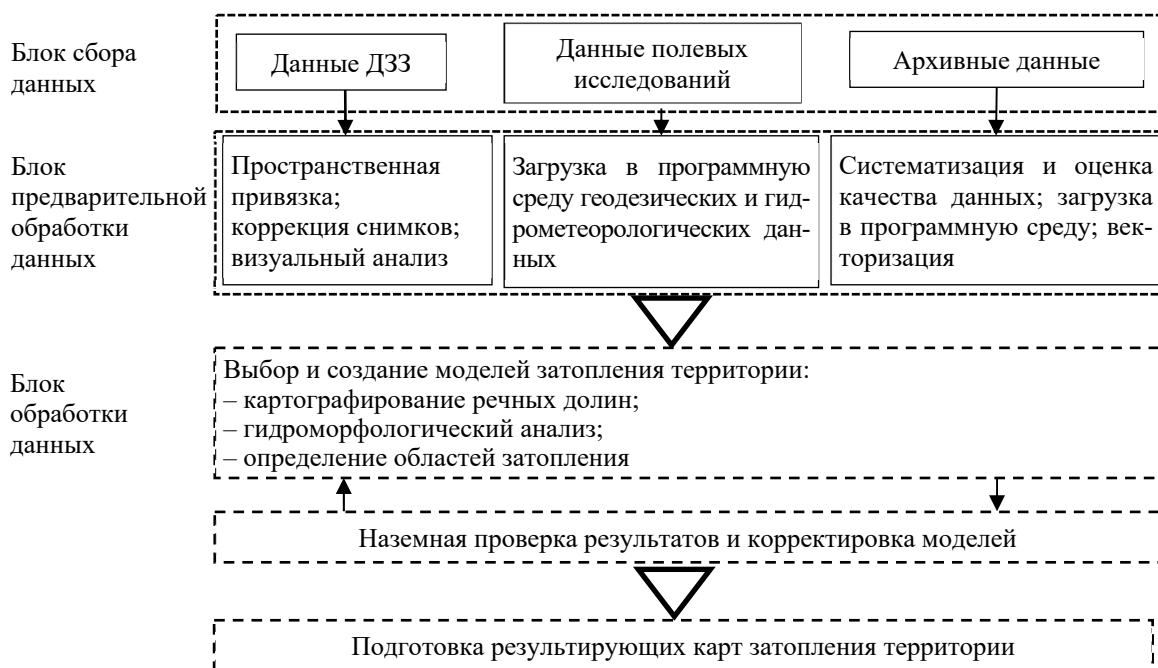


Рис. 1. Технологическая схема ГИС, обеспечивающей прогнозирование затоплений

Создание информационной системы на базе ГИС с использованием данных дистанционного зондирования Земли из космоса позволит снизить риск потерь от затопления в условиях весенних половодий. На базе такой системы будет возможно объективно классифицировать территории и разработать правила безопасной деятельности на территориях, попадающих в зоны затопления.

**Предварительная обработка информации**

Данные ДЗЗ первым делом подвергаются геопривязке. Операция выполняется для привязки растрового изображения к местности, которое, в свою очередь, связано с геодезической системой отсчета, такой как WGS-84. Таким образом, осуществляется привязка объектов карты к определенным координатам.

Следующими операциями подготовки снимков к дальнейшему анализу являются проведение атмосферной коррекции и обрезка изображения области исследования.

Используя инструмент по созданию композитов, можно решать задачу подготовки наиболее выразительного сочетания каналов для дешифрирования почвенно-растительного покрова. Увлажненные и переувлажненные участки уверенно дешифрируются по темному фототону, обусловленному поглощением водой волн ИК-диапазона. Для решения этих задач следует применять комбинацию каналов 5-6-4 снимков Landsat 8 (сканер OLI). На архивных снимках Landsat 1-3 (сканер MSS) успешно применяется комбинация каналов 4-2-1.

Данные полевых инструментальных измерений импортируются из приборов в программу для построения ЦМР. Исходными данными могут служить точечные данные и группы точек, контуры и ASCII-файлы точек. Массив гидрометеорологических данных собирается в атрибутивные таблицы.

После систематизации и оценки качества архивные материалы в картографическом виде векторизуют, а в текстовом и табличном виде оформляют в атрибутивные таблицы.

### Обработка информации

Обеспечение геоинформационной системы должно включать подсистемы:

– ЦМР и пространственно-распределенные характеристики почвенно-растительного покрова являются важнейшим элементом ин-

формационной основы любой гидрологической модели [24, 11, 19]. Цифровые модели рельефа применяются для анализа структуры гидрографической сети и расчета гидрологических параметров: суммарного потока вдоль русла реки, длин и уклонов водотоков, площади водосборного бассейна (рис. 2);

– моделирования на основе данных метеорологических наблюдений, которые получают с метеостанций и во время проведения инженерно-гидрометеорологических изысканий.

### Анализ структуры речной системы

Начальным этапом изучения пространственно распределенных гидрологических процессов является гидрографическая индикация, т. е. использование рисунка речной сети для гидрологических расчетов.

ЦМР применяется для расчета направления поверхностного стока. В зависимости от значений уклона и экспозиции формируются пути основных потоков, участвующих в формировании водоразделов. При практической реализации программной технологии были учтены ошибки в данных, вызванные ограничениями разрешения ЦМР SRTM. Поскольку речная система о. Сахалин представлена малыми и средними реками, то ограничение разрешения является существенным фактором. Ошибки идентификации структуры речной сети возникают в условиях гористой местности, когда реки протекают через узкие ущелья, ширина которых меньше 90 м. В этом случае высота при съемке получает завышенное значение.

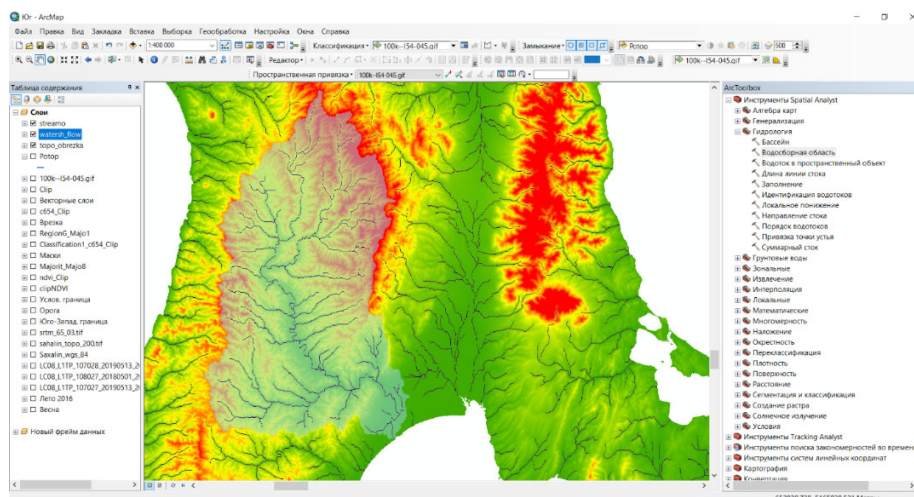


Рис. 2. Схема водотоков и водосборного бассейна р. Лютоги

В автоматическом режиме при определении речной структуры процедура в таких ситуациях должны прерываться, и, соответственно, часть бассейна реки не будет распознана. Чтобы обойти ситуации такого рода, используются инструменты ГИС для заполнения водой локальных бессточных понижений. Хотя некоторые из локальных понижений соответствуют реальному рельефу, большинство все же возникает в результате ошибок в данных, которые следует откорректировать.

В завершение с помощью сглаженной модели ЦМР производится вычисление направления потока поверхностных вод и, в зависимости от уклона рельефа, определяются пути основных потоков, участвующих в формировании водоразделов, суммарный поток вдоль основного русла реки, а также уклоны и длины водотоков.

Характеристика площади водосбора может применяться для классификации стоковых элементов гидрологической системы в рамках ландшафтно-гидрологического подхода. При таком подходе более значимы элементы гидрологической системы, с которыми связана большая площадь водосбора.

В программный комплекс для расчета зон затопления должны входить характеристики русла и расхода. Расход заданной обеспеченности вычисляется в соответствии с СП 33-101-2003.

Выходными данными по результатам расчетов будут следующие параметры: общий и русловой расходы, русловая скорость, площадь сечения, максимальный уровень воды.

#### Выявление зон затопления

Затопления происходят при таянии снега и выпадении дождей. Снегозапасы и осадки могут быть определены по данным непосредственных измерений. Расчет гидрографа половодья сводится к оценке количества талой воды с учетом поглощения почвой, задержания на поверхности речного бассейна и потерь на испарение [4].

Исследования выполнялись для наиболее характерной для региона реки. Лютога – самая крупная река на юге Сахалина, длиной 130 км, с площадью водосбора 1 530 км<sup>2</sup>. Исток находится на южном склоне горы Атомной в Мицулевском хребте. Река впадает в Анивский залив.

В верхней части русло прямое, далее – извилистое, порожистое и разветвленное. Ши-

рина составляет до 15 м, глубина 0,2–0,5 м. Скорости течения от 0,5 до 1,0 м/с.

Дно русла неровное, галечно-каменистое с редкими выходами скальных пород. Склоны долины имеют крутизну 10–70°.

Долина реки в среднем течении густо облесена и имеет форму трапецидальной долины шириной 600–1 000 м. Склоны покрыты молодым смешанным лесом, грунт склонов супесчаный.

Террасы вдоль склонов прослеживаются почти по всей длине. Они покрыты лесом и местами заняты сельскохозяйственными угодьями. У подошвы склонов наблюдаются обильные выходы грунтовых вод.

Пойма шириной 50–100 м, двухсторонняя, прерывистая, местами болотистая, с ровной поверхностью, поросшей кустарником. Затопление поймы происходит не ежегодно.

Русло в среднем течении извилистое, разветвленное, шириной 40–50 м, глубиной 0,3–0,8 м. Скорости течения 0,5–1,2 м/с. Острова встречаются через 2–4 км. Дно реки неровное, на плесах песчано-галечное, на перекатах галечно-каменистое и валунное, на отдельных участках скальное. Берега русла крутые, поросли кустарником, сложены песчано-галечными отложениями.

В нижнем течении долина реки асимметрична с крутыми расчлененными склонами (20–30°), покрытыми смешанным лесом. Пойма шириной до 0,5 км хорошо развита (рис. 3).

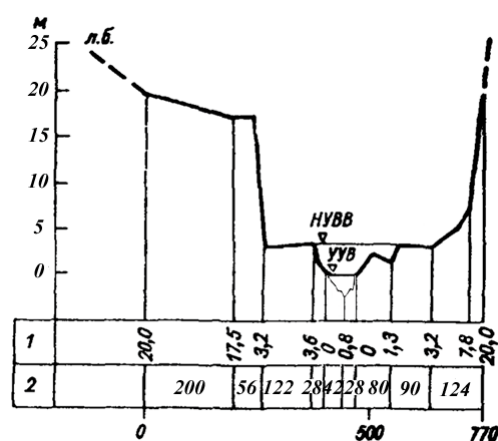


Рис. 3. Схематический поперечный профиль долины и русла реки Лютоги в 1 км выше с. Петропавловского:

1 – отметки над РУВ, в м; 2 – расстояния, в м; НУВВ – наивысший уровень высоких вод; УУВ – условный уровень воды

Русло в низовьях умеренно извилистое, разветвленное. Преобладающая ширина реки 70–100 м, глубина на плесах 1–1,5 м, на перекатах 0,7–0,9 м. Скорости течения на плесах 0,4–0,6 м/с, на перекатах 0,9–1,1 м/с. От устья до с. Воскресенского проявляются приливо-отливные течения (высота подъема уровня воды в районе устья достигает 1,6 м). Дно русла ровное, песчано-галечное и галечно-гравелистое, в устьевой части песчаное и песчано-илистое.

Сток в течение года распределяется неравномерно (рис. 4). Питание реки смешанное с преобладанием снегового. Весной половодье начинается в апреле и заканчивается к началу июня. В течение лета паводки связаны с обильными осадками, а в августе-октябре – с прохождением тропических циклонов.

Сведения об основных характеристиках режима реки приведены в таблице.

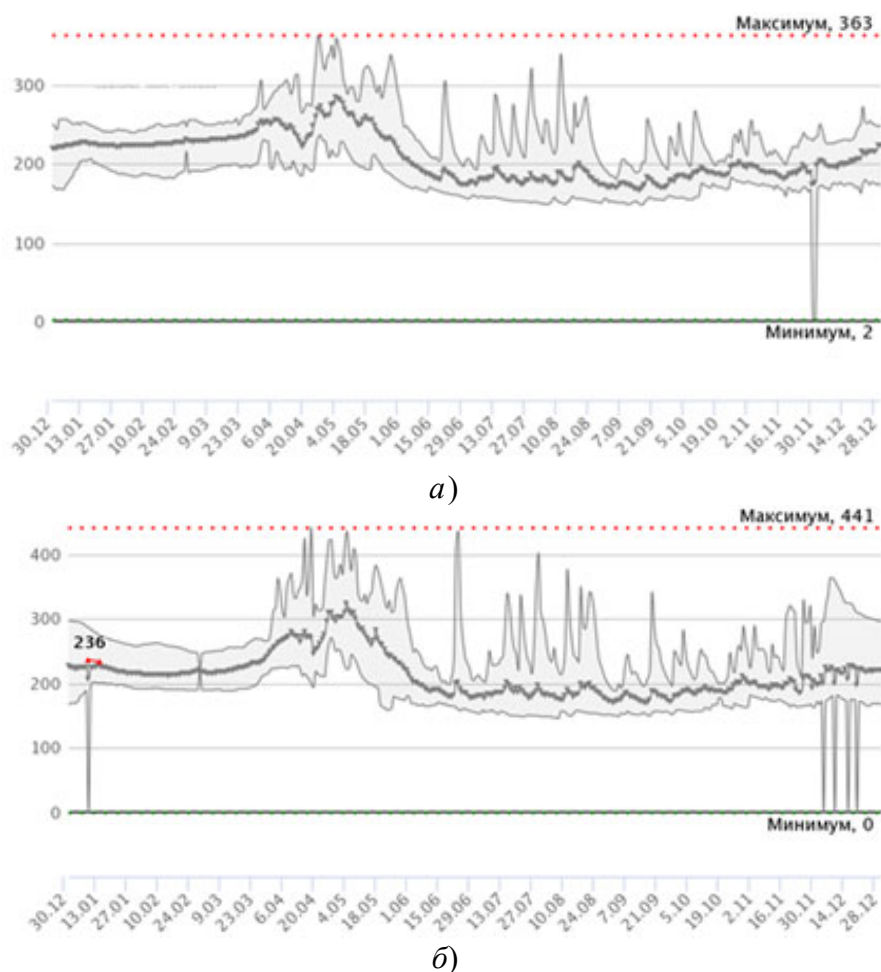


Рис. 4. График уровня воды по гидропостам на р. Лютоге:  
 а) с. Чапланово за период 2007–2017 гг.; б) пос. Огоньки за период 2007–2020 гг.

Таблица

Основные гидрологические характеристики р. Лютоги на гидрологических постах

Гидрологическая характеристика	с. Пятиречье	с. Чапланово	п. Огоньки
Площадь водосбора, км <sup>2</sup>	138	667	1 350
Средняя высота водосбора, м	360	350	270
Лесистость, %	64	52	60
Средний годовой расход воды, м <sup>3</sup> /с			
– средний многолетний	3,93	17,8	35,2

Гидрологическая характеристика	с. Пятиречь	с. Чапланово	п. Огоньки
– обеспеченный на 5 %	5,23	22,6	42,6
– на 95 %	2,63	13,2	27,8
– на 97 %	2,44	12,5	26,8
Среднее распределение стока по характерным периодам, % от годового			
– весна (IV – VI)	61,0	63,0	61,6
– лето (VII, VIII)	9,6	8,1	8,7
– осень (IX – XI)	22,5	23,1	24,2
– зима (XII – III)	6,9	5,8	5,5
Максимальный расход воды весеннего половодья, м <sup>3</sup> /с			
– средний многолетний	48,8	212	410
– обеспеченный на 1 %	172	706	1 330
– на 5%	114	480	910
– на 10%	89,9	383	730
Максимальный расход воды дождевых паводков м <sup>3</sup> /с			
– средний многолетний	15,0	91,0	210
– обеспеченный на 1 %	46,5	299	751
– на 5 %	32,9	208	508
– на 10 %	26,9	168	401
Многолетняя амплитуда колебания уровня воды, м	1,84	3,50	4,60
Толщина льда, см			
– средняя	46	79	72
– наибольшая	75	107	102

При отсутствии данных гидрометрических наблюдений расчетные максимальные расходы воды определяются по редуционной формуле:

$$Q_p = \frac{A_{p\%} F}{(F + 1)^{0,25}} \delta_1 \delta_2 \dots \delta_i \dots \delta_n, \quad (1)$$

где  $A_{p\%}$  – максимальный модуль элементарного стока требуемой расчетной вероятности превышения, определяемый по данным наблюдений или по опубликованным официальным документам Госкомгидромета, м<sup>3</sup>/с с 1 км<sup>2</sup>;  $F$  – площадь водосбора, км<sup>2</sup>;  $\delta_1, \delta_2 \dots, \delta_n \dots$  – коэффициенты учета степени уменьшения максимального расхода воды различными факторами естественного и искусственного регулирования поверхностного стока на водосборах рек (озерность, заболоченность, зеленность, распаханность водосбора и др.).

Помимо расчетов необходимо заверять результаты по архивным данным, где по космическим снимкам распознаются зоны затопления после сильных наводнений. На композитных изображениях после наводнения область затопления отображается красным цветом. Кроме того, стоячая вода на снимке отображается очень темным фототонном, в то время как сухие почвы имеют светлую окраску (рис. 5).



Рис. 5. Выделение зоны затопления на р. Лютоге после прохождения тайфуна «Филлис» по архивным снимкам Landsat 3

Применение информационных технологий картографирования речной системы на основе ЦМР позволяет реализовывать принципы ландшафтно-гидрологической классификации, а также осуществлять имитационное моделирование и прогнозирование опасных гидрологических ситуаций [25–27], в том числе вызванных паводковыми процессами в результате прохождения тропических циклонов [28, 16]. Дифференциация элементов площади водосбора по высоте от уровня моря и длине водотока, выполненная по

спутниковым данным, обеспечивает гидрологическую модель достоверной информацией о характеристиках водосбора, распределениях водо- и снегозапасов, что позволяет решать задачи, связанные с оценкой расходов воды, прогнозировать время добегания пиковой волны наводнения в зависимости от сценария снеготаяния или выпадения ливневых осадков. Расчеты зон затопления необходимо заверять по космическим снимкам после сильных наводнений, которые происходят при определенных уровнях, измеренных на гидромерных постах.

По данным анализа композитного изображения, полученного по данным космической съемки со спутника Landsat-2, уверенно распознаются зоны затопления после сильного наводнения во время прохождения над территорией тайфуна «Филлис». Местности, подвергавшиеся затоплению, отобразились красным цветом. Участки долины реки, покрытые стоячей водой, на снимке отличаются темными оттенками.

### Заключение

Таким образом, для обеспечения надежного прогнозирования чрезвычайных ситуаций в результате затопления при паводках на реках юга Сахалина геоинформационная система должна включать инструментарий:

– для определения расчетных максимальных расходов для всех рек с площадью водо-

сборного бассейна более 1 000 км<sup>2</sup>. Река Лютога может использоваться в качестве реки-аналога при выполнении расчетов при отсутствии данных гидрологических наблюдений;

– сбора массива данных об основных гидрологических характеристиках рек в створах гидромерных постов, в частности общих и русловой расходы, русловая скорость, площадь сечения, максимальный уровень воды;

– анализа информации по данным ЦМР о положении линий основных потоков, позиции водоразделов, суммарных потоках вдоль основного русла реки, уклонах и длинах водотоков-рукавов;

– хранения сведений о дифференциации зон затопления в зависимости от величины площади водосбора на определенной высоте от уровня моря (основа – спутниковые изображения);

– оценки снегозапасов и водосборных площадей с учетом дренажа по результатам анализа космических снимков;

– хранения архивных материалов о затоплениях прошлых лет, снимков местности, выполненных сразу после наводнения, так как во время таковой работы в видимом диапазоне затрудняют облака. Все сложности моделирования паводковых ситуаций с использованием геоинформационных технологий невозможно рассмотреть в рамках одной статьи: авторы попытались осветить основные моменты и наметить основные направления формирования системы.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Калинин Г. П. О предвычислении гидрографа весеннего половодья // Труды ЦИП, 1947. – Вып. 6. – С. 42–72.
2. Великанов М. А. Композиционный метод нахождения кривой распределения для пиковых расходов снегового половодья // Метеорология и гидрология. – 1949. – № 3. – С. 61–67.
3. Алексеев Г. А. Расчеты паводочного стока рек СССР. – Л. : Гидрометеиздат, 1955. – 200 с.
4. Попов Е. Г. Вопросы теории и практики прогнозов речного стока. – Л. : Гидрометеиздат, 1963. – 395 с.
5. Crawford N. H., Linsley R. K. Estimate of the Hydrologic Results of Rainfall Augmentation // Journal of Applied Meteorology. – 1963. – Vol. 2, № 3. – P. 426–427.
6. Кучмент Л. С. Математическое моделирование речного стока. – Л. : Гидрометеиздат, 1972. – 191 с.
7. Виноградов Ю. Б., Виноградова Т. А. Математическое моделирование в гидрологии. – М. : Академия, 2010. – 304 с.
8. Воеводин А. Ф., Никифоровская В. С., Виноградова Т. А. Математические модели для прогнозирования процесса распространения волн катастрофических паводков в системах открытых русел и водотоков // Вестник Санкт-Петербургского университета. – 2009. – Сер. 7, вып 3. – С. 139–144.



9. Кучмент Л. С., Гельфан А. Н., Демидов В. Н. Пространственная модель формирования талодождевого стока горной реки (на примере верхней Кубани) // *Метеорология и гидрология*. – 2010. – № 12. – С. 76–87.
10. Мотовилов Ю. Г. Гидрологическое моделирование речных бассейнов в различных пространственных масштабах. 1. Алгоритмы генерализации и осреднения // *Водные ресурсы*. – 2016. – Т. 43, № 3. – С. 243–253.
11. Жоров В. А., Зырянова Т. А., Ловцкая О. В., Постнова И. С., Яковченко С. Г. Использование ГИС ArcView 3.2 и программного продукта HEC-4 при моделировании зон затопления паводковыми водами // *ИнтерКарто. ИнтерГИС*. – 2016. – Т. 15, № 2. – С. 385–391.
12. Clark M. J. Putting water in its place: a perspective on GIS in hydrology and water management. *Hydrological Processes*. – 1998. – Vol. 12 (6). – P. 823–834.
13. Fürst J. Application of Geographical Information Systems (GIS) in Operational Hydrology. Report to WMO RA VI. – WMO, 2002. – 30 p.
14. Meijerink A. M. J., de Brower H. A. M., Mannaerts C. M., Valenzuela C. Introduction to the use of Geographic Information Systems for practical hydrology. UNESCO-ITC publication. 1994. – № 23. – 273 p.
15. Mioc D., Nickerson D., MacGillivray E., Morton A., Anton F., Fraser D., Tang P., Liang G. Early warning and mapping for flood disasters // *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. – 2008. – Vol. 37, Part B4. – P. 1507–1512.
16. Зенкин О. В., Мелкий В. А., Малинников В. А., Долгополов Д. В. Прогнозирование поверхностного стока половодий и дождевых паводков // *Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка*. – 2015. – № 3. – С. 79–84.
17. Гарцман Б. И., Шекман Е. А. Возможности моделирования речной сети на основе ГИС-инструментария и цифровой модели рельефа // *Метеорология и гидрология*. – 2016. – № 1. – С. 86–98.
18. Бугаец А. Н. Применение стандарта OPENMI для создания интегрированных систем гидрологического моделирования // *Метеорология и гидрология*. – 2014. – № 7. – С. 93–105.
19. Пьянков С. В., Шихов А. Н. Геоинформационное обеспечение моделирования гидрологических процессов и явлений : монография. – Пермь : Пермский гос. национальный исследовательский ун-т., 2017. – 148 с.
20. Пьянков С. В., Шихов А. Н. Опасные гидрометеорологические явления: режим, мониторинг, прогноз. – Пермь : Изд-во ООО «Раритет–Пермь», 2014. – 296 с.
21. Фотограмметрия [Электронный ресурс] // Сайт компании «Совзонд». – Режим доступа: <https://sovzond.ru/products/spatial-data/digital-models/geo-elevation-services/#tab-4>.
22. Карпик А. П., Аврунев Е. И., Варламов А. А. Совершенствование методики контроля качества спутникового позиционирования при создании геоинформационного пространства территориального образования // *Известия вузов. Геодезия и аэрофотосъемка*. – 2014. – № 4/С. – С. 182–186.
23. Беспилотный комплект для аэрофотосъемки DJI Phantom 4 RTK + D-RTK 2 Mobile Station Combo [Электронный ресурс] // Сайт GEOBOX. – Режим доступа : [https://www.geobox.ru/catalog/kompleks\\_dlya\\_aerofotosemki\\_dji\\_phantom\\_4\\_rtk\\_d\\_rtk\\_2\\_mobile\\_station\\_combo/](https://www.geobox.ru/catalog/kompleks_dlya_aerofotosemki_dji_phantom_4_rtk_d_rtk_2_mobile_station_combo/).
24. Фролов А. В., Асмус В. В., Борщ С. В., Вильфанд Р. М., Жабина И. И., Затягалова В. В., Кровотынцев В. А., Кудрявцева О. И., Леонтьева Е. А., Симонов Ю. А., Степанов Ю. А. «ГИС Амур»: система мониторинга, прогнозирования и раннего оповещения о наводнениях // *Метеорология и гидрология*. – 2016. – № 3. – С. 5–21.
25. Хмелев В. А., Турбинский В. В., Самшорина А. А., Суворова А. В., Колосницына В. В., Чечек И. Геоинформационные технологии в санитарно-гигиенической оценке последствий наводнений в населенных пунктах (на примере реки Оби Алтайского края в 2014–2015гг.) // *Вестник СГУГиТ*. – 2015. – № 4 (32). – С. 153–168.
26. Борисова Т. А., Бешенцев А. Н., Лубсанов А. А., Будаева Д. Г., Пахахинова З. З. Геоинформационный мониторинг наводнений в бассейне озера Байкал // *Вестник СГУГиТ*. – 2019. – Т. 24, № 2. – С. 131–142.
27. Редикарцева Е. М., Карпик П. А. Математическое моделирование зависимости уровня воды в реке Оби в городе Новосибирске от сброса воды на Новосибирской ГЭС // *Вестник СГУГиТ*. – 2017. – Т. 22, № 4. – С. 237–242.
28. Долгополов Д. В., Никонов Д. В., Полуянова А. В., Мелкий В. А. Возможности визуального дешифрирования магистральных трубопроводов и объектов инфраструктуры по спутниковым изображе-

ниям высокого и сверхвысокого пространственного разрешения // Вестник СГУГиТ. – 2019. – Т. 24, № 3. – С. 65–81.

Получено 30.10.2020

© А. А. Верхотуров, В. А. Мелкий, 2021

## GEOINFORMATION SUPPORT FOR FORECASTING FLOOD ZONES IN THE SOUTH OF SAKHALIN

*Alexey A. Verhoturov*

Institute of Marine Geology and Geophysics of the Far Eastern branch of the Russian Academy of Sciences, 1B, Nauki St., Yuzhno-Sakhalinsk, 693022, Russia, Ph. D., Senior Researcher, Center for Collective Use, e-mail: ussr-91@mail.ru

*Vyacheslav A. Melkiy*

Institute of Marine Geology and Geophysics of the Far Eastern branch of the Russian Academy of Sciences, 1B, Nauki St., Yuzhno-Sakhalinsk, 693022, Russia, D. Sc., Leading Researcher, Laboratory of Volcanology and Volcanic Hazards, e-mail: vamelkiy@mail.ru

Modern systems of hydrometeorological monitoring, for the most part, widely use WEB and GIS technology tools. Territorial fragmentation divisions of the World Meteorological Organization (WMO), Roshydromet, Russian Academy of Sciences and other services and departments interested in obtaining data requires creation of unified information environment for exchange of heterogeneous information. Formation field for geospatial data has become possible with the availability of industrial design platforms with high performance, supporting standard data exchange formats suitable of system for building projectoin. The purpose of the study is to develop requirements for geoinformation support of the system necessary for flood forecasting. Methods: GIS mapping, interpretation and analysis of remote sensing data of the Earth. When developing system for hydrological monitoring of rivers in the Southern Sakhalin, we used the experience of operating similar observational network in services of several European countries, as well as the geographically distributed GIS created by Roshydromet. Considering the vast experience of predecessors and requirements for geoinformation support necessary for predicting flood zones in the rivers of Southern Sakhalin have been developed. The initial data for creating the correct flood model are satellite images, large-scale topographic maps, digital terrain models, data from long-term hydrometeorological observations, and engineering surveys.

**Keywords:** geoinformation support, decoding of aerospace images, thematic mapping, topographic maps, digital elevation model, flood, flooding, catchment basin

### REFERENCES

1. Kalinin, G. P. (1947). About the pre-calculation of the spring flood hydrograph. *Trudy TsIP [Proceedings of the CIP]*, 6, 42–72 [in Russian].
2. Velikanov, M. A. (1949). Derived distribution approach to obtaining frequency distribution of snowmelt flood peaks. *Meteorologiya i gidrologiya [Russian Meteorology and Hydrology]*, 3, 61–67 [in Russian].
3. Alekseev, G. A. (1955). *Raschety pavodochnogo stoka rek SSSR [Calculations of flood flow of rivers of the USSR]*. Leningrad: Hydrometeoizdat Publ., 200 p. [in Russian].
4. Popov, E. G. (1963). *Voprosy teorii i praktiki prognozov rechnogo stoka [Theory and practice of river flow forecasts]*. Leningrad: Gidrometeoizdat Publ., 395 p. [in Russian].
5. Crawford, N. H., & Linsley, R. K. (1963). Estimate of the Hydrologic Results of Rainfall Augmentation. *Journal of Applied Meteorology*, 2(3), 426–427.
6. Kuchment, L. S. (1972). *Matematicheskoe modelirovanie rechnogo stoka [Mathematical modeling of river flow]*. Leningrad, 191 p. [in Russian].
7. Vinogradov, Yu. B., & Vinogradova, T. A. (2010). *Matematicheskoe modelirovanie v gidrologii [Mathematical modelling in hydrology]*. Moscow: Akademiya Publ., 304 p. [in Russian].

8. Voevodin, A. F., Nikiforovskaya, V. S., & Vinogradova, T. A. (2009). Mathematical models for predicting the process of propagation of waves of catastrophic floods in systems of open channels and watercourses. *Vestnik Sankt-Peterburgskogo universiteta [Bulletin of St. Petersburg University]*, 7(3), 139–144 [in Russian].
9. Kuchment, L. S., Gelfan, A. N., & Demidov, V. N. (2010). A spatial model of snowmelt-rainfall runoff formation of the mountain river (by the example of the upper Kuban river). *Meteorologiya i gidrologiya [Russian Meteorology and Hydrology]*, 35(12), 842–850 [in Russian].
10. Motovilov, Y. G. (2016). Hydrological simulation of river basins at different spatial scales: 1. Generalization and averaging algorithms. *Vodnye resursy [Water Resources]*, 43(3), 429–437 [in Russian].
11. Zhorov, V. A., Zyryanova, T. A., Lovtskaya, O. V., Postnova, I. S., & Yakovchenko, S. G. (2016). Using GIS ArcView 3.2 and Software HEC-4 for modeling flood zones. *InterKarto. InterGIS [InterCarto. InterGIS]*, 15(2), 385–391 [in Russian].
12. Clark, M. J. (1998). Putting water in its place: a perspective on GIS in hydrology and water management. *Hydrological Processes*, 12(6), 823–834.
13. Fürst, J. (2002). Application of Geographical Information Systems (GIS) in Operational Hydrology. Report to WMO RA VI, WMO, 30 p.
14. Meijerink, A. M. J., de Brower, H. A. M., Mannaerts, C. M., & Valenzuela, C. (1994). Introduction to the use of Geographic Information Systems for practical hydrology. UNESCO-ITC publication. No 23, 273 p.
15. Mioc, D., Nickerson, D., MacGillivray, E., Morton, A., Anton, F., Fraser, D., Tang, P., & Liang, G. (2008). Early warning and mapping for flood disasters. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 37, Part B4, 1507–1512.
16. Zenkin, O. V., Melkiy, V. A., Malinnikov, V. A., & Dolgopopov, D. V. (2015). Forecasting surface runoff floods and rain floods. News of Higher educational institutions. *Izvestiya vusov. Geodeziya i aerofotosyemka. [Izvestia Vuzov. Geodesy and Aerophotography]*, 3, 79–84 [in Russian].
17. Harzman, B. I., & Shekman, E. A. (2016). Possibilities of river network modeling based on GIS-tools and digital relief model. *Meteorologiya i gidrologiya [Russian Meteorology and Hydrology]*, 1, 86–98 [in Russian].
18. Bugaets, A. N. (2014). Using the OPENMI standard for developing integrated systems of hydrological modeling. *Meteorologiya i gidrologiya [Russian Meteorology and Hydrology]*, 39(7), 498–506.
19. Pyankov, S. V., & Shikhov, A. N. (2017). *Geoinformatsionnoe obespechenie modelirovaniya gidrologicheskikh protsessov i yavleniy [Geoinformation support of modeling of hydrological processes and phenomena]*. Perm: Perm State National Research University Publ., 148 p. [in Russian].
20. Pyankov, S. V., & Shikhov, A. N. (2014). *Opasnye gidrometeorologicheskie yavleniya: rezhim, monitoring, prognoz [Dangerous hydrometeorological phenomena: regime, monitoring, forecast]*. Perm: OOO "Raritet-Perm" Publ., 296 p. [in Russian].
21. Photogrammetric processing. Website "Sovzond" company. (n. d.). Retrieved from <https://en.sovzond.ru/services/photogrammetry/#sozдание-tsifrovyykh-modeley-relefa-i-mestnosti>.
22. Karpik, A. P., Avrunev, E. I., & Varlamov, A. A. (2014). Improving methods for quality control of satellite positioning when creating geo-space territorial education. *Izvestiya vusov. Geodeziya i aerofotosyemka. [Izvestia Vuzov. Geodesy and Aerophotography]*, S/4, 182–186 [in Russian].
23. Drone kit for aerial photography DJI Phantom 4 RTK + D-RTK 2 Mobile Station Combo. Website "GEOBOX". (n. d.). Retrieved from [https://www.geobox.ru/catalog/kompleks\\_dlya\\_aerofotosemki\\_dji\\_phantom\\_4\\_rtk\\_d\\_rtk\\_2\\_mobile\\_station\\_combo/](https://www.geobox.ru/catalog/kompleks_dlya_aerofotosemki_dji_phantom_4_rtk_d_rtk_2_mobile_station_combo/).
24. Frolov, A. V., Asmus, V. V., Borshch, S. V., Vilfand, R. M., Zhabina, I. I., Zatagalova, V. V., Krovydyntsev, V. A., Kudryavtseva, O. I., Leontieva, E. A., Simonov, Yu. A., & Stepanov, Yu. A. (2016). GIS "Amur": System for monitoring, forecasting and early warning of floods. *Meteorologiya i gidrologiya [Russian Meteorology and Hydrology]*, 3, 5–21 [in Russian].
25. Khmelev, V. A., Turbinsky, V. V., Samarina, A. A., Suvorova, A. V., Kolosnitsyna, V. V., & Chechek, I. (2015). Geoinformation technology in sanitary-and-hygienic estimation of consequences of floods in the settlements (by the example of the river Ob of the Altai territory in 2014 and 2015). *Vestnik SGUGiT [Vestnik SSUGT]*, 4(32), 153–168 [in Russian].

26. Borisova, T. A., Beshentsev, A. N., Lubsanov, A. A., Budaeva, D. G., & Pakhakhinova, Z. Z. (2019). Geoinformation monitoring of floods in the basin of lake Baikal. *Vestnik SGUGiT [Vestnik SSUGT]*, 24(2), 131–142 [in Russian].

27. Redikartseva, E. M., & Karpik, P. A. (2017). Mathematical modeling of the dependence of the water level in the Ob river in the Novosibirsk city after Discharge of water in the Novosibirsk HPP. *Vestnik SGUGiT [Vestnik SSUGT]*, 22(4), 237–242 [in Russian].

28. Dolgoplov, D. V., Nikonov, D. V., Poluyanov, A. V., & Melkiy, V. A. (2019). Possibilities of Visual decoding of Main pipelines and Infrastructure objects using satellite images of high and ultra-high spatial resolution. *Vestnik SGUGiT [Vestnik SSUGT]*, 24(3), 65–81 [in Russian].

Received 30.10.2020

© A. A. Verkhoturov, V. A. Melkiy, 2021