

ПРИМЕНЕНИЕ РАДАРНЫХ И ОПТИЧЕСКИХ ДАННЫХ ДЗЗ ДЛЯ ОЦЕНКИ КОЛИЧЕСТВА ПОСТРАДАВШИХ ДОМОВ, ПЛОЩАДИ И ГРАНИЦ ЗОН ЗАТОПЛЕНИЯ

М.Т. Кусаинова*, Ж.З. Толеубекова к.т.н., А.А. Ахмадия PhD, А.З. Капасова к.т.н.

Казахский Агротехнический Исследовательский Университет им. С. Сейфуллина, Астана, Казахстан

E-mail: marzh.kussainova@gmail.com

В статье представлен результат определения зоны затопления, количество пострадавших домов и здания города Атбасар от весеннего половодья 2017 года. Этот результат получен с применением трех доступных данных ДЗЗ Sentinel-2A, Landsat-8 и Sentinel-1B среднего пространственного разрешения. На первой стадии визуально проводился анализ данных ДЗЗ ближнего, коротковолнового, теплового инфракрасного (ИК) диапазона и поляризации по уровню контрастности. Были выбраны изображения по высокому уровню контрастности между двумя классами: водный объект и не водный объект (суша). На второй стадии вычислялись пороговые значения из выборки пикселей, относящихся к водным объектам, и далее создавались бинарные изображения. На третьей стадии, бинарные изображения логически суммировались для устранения облачного эффекта и нахождения результирующего бинарного изображения зоны затопления от весенних паводков. На четвертой стадии, результирующее бинарное изображение было наложено на ГИС данные города Атбасар, где, находились локации и количество пострадавших домов и зданий. По данному исследованию было обнаружено, что более 200 дачных домиков в результате половодья были подтоплены на северной, и 9 домов на восточной части города Атбасар. Согласно данным СМИ и официальных органов количество пострадавших домов в Атбасар составило около 400. Количество пострадавших домов, найденных по методу логического суммирования с тремя данными ДЗЗ составило 52%. Точность нахождения может быть значительно повышена при использовании данных ДЗЗ высокого пространственного разрешения. Результаты этого исследования могут быть полезны для службы ЧС, местным госорганам, страховым компаниям при оценке ущерба от весенних паводков.

Ключевые слова: инфракрасный диапазон, поляризация, ДЗЗ, весенние паводки, половодья, граница и площадь затопления.

Поступила: 11.02.24

DOI: 10.54668/2789-6323-2024-112-1-144-160

ВВЕДЕНИЕ

Паводки и половодья могут иметь серьезные последствия. Они способны наносить ущерб домам, инфраструктуре, вызывать затопления и эвакуацию населения. Половодье это ежегодное явление, которое приносит значительный ущерб жизнедеятельности человека. Основные причины весенних паводков и половодья - таяние снега и льда. Эти факторы обуславливают большой объем талой воды, которая поступает в реки, ручьи и озера, вызывая их переполнение и часто приводя

к масштабным разливам. Таким образом, весенние паводки представляют собой одно из стихийных бедствий, требующее управления для минимизации их воздействия на окружающую среду и жизнь людей. Реки равнинного Казахстана, находящиеся в условиях недостаточного увлажнения, имеют преимущественно снеговое питание с весенним половодьем и по водному режиму относятся к особому казахстанскому типу. Большая часть их стока проходит за весенний период и составляет 80...90 % годового стока (Tyumenev S.D., 2008). В Казахстане весеннее

половодье может вызывать различные проблемы и причинять ущерб как населению, сельскому хозяйству, так и экономике. Основные регионы, подверженные риску паводков, включают в себя западные и северные области страны, такие как Западно-Казахстанская, Атырауская, Актюбинская, Костанайская, Северо-Казахстанская, Акмолинская, Павлодарская, Карагандинская и Восточно-Казахстанская области, а также некоторые районы северной части Алматинской области (Zou et al. 2020; Spivak et al. 2004; Arkhipkin et al. 2010). Правительство Казахстана предпринимает шаги для минимизации рисков и ущерба от весенних паводков. В целом, весенние паводки в Казахстане представляют собой потенциальную угрозу для местного населения и экономики, поэтому важно проводить постоянный мониторинг и принимать меры для защиты людей и имущества от негативных последствий этого стихийного бедствия (Arkhipkin et al. 2016; Arkhipkin et al. 2017; Arkhipkin et al. 2018).

Научные исследования весенних паводков в Казахстане включают в себя множество аспектов, в том числе изучение климатических условий, гидрологических особенностей регионов, оценку уровня риска и разработку методов прогнозирования и предотвращения негативных последствий паводков (Ongdas et al. 2020; Nikolaos et al. 2019; Lammers et al. 2021). Дистанционное зондирование земли (ДЗЗ) является эффективным инструментом для определения зон затопления весенними паводками. Спутниковые данные могут быть использованы для обнаружения и отслеживания изменений в природной среде, связанных с паводками, путем анализа изображений до и после наводнения (Ghofrani, Sposito, and Faggian 2019). Современные методы обработки изображений позволяют автоматически выделять и обозначать на снимках области затопления. Это может быть сделано с помощью алгоритмов компьютерного зрения и классификации изображений (Farhadi and Najafzadeh 2021). После обработки спутниковых данных можно создать карты, показывающие области затопления. Эти карты могут быть очень полезными для спасательных операций, планирования и принятия мер

по уменьшению ущерба от паводков.

В целом, ДЗЗ предоставляет ценную информацию и помогает в оценке масштабов паводков, идентификации затопленных областей и обеспечении необходимой помощи и мер по предотвращению ущерба от подобных природных бедствий. Выделение областей затопления возможно с помощью инфракрасного и радиолокационных диапазонов ДЗЗ (Wang, Jin, and Xiong 2023). Области затопления могут отличаться по своей температуре от окружающей среды, и это может быть обнаружено с помощью инфракрасного диапазона. Вода обычно имеет отличительные характеристики от обычной земли или растительности на радиолокационных изображениях, что позволяет идентифицировать области затопления. В радиоволновом диапазоне (которые используются в радиолокации), вода является поглощающим материалом. Поэтому на радиолокационных изображениях водные поверхности, такие как озера, реки или другие водоемы, обычно отображаются темнее, чем суша или другие объекты на поверхности Земли. Это отличие в яркости или рассеянной радиоволновой энергии позволяет идентифицировать и выделять водные участки на радиолокационных изображениях (Huang and Jin 2020; Kuntla and Manjusree 2020; Benoudjit and Guida 2019).

Целью данного исследования являлось определение зоны границ и площади затопления с применением доступных данных ДЗЗ Sentinel-1, Sentinel-2 и Landsat-8, оценка спектральных поляризационных каналов, выявление количества и локации затопленных домов совместным использованием ГИС данных, создание точной карты затопления. В этом исследовании использовался комбинационный метод порогового значения и логического сложения оптических и радарных данных ДЗЗ для определения зоны границ и площади затопления.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

На основе официальных данных полученных из отчетов акимата и департаментов ЧС Атбасарского района, Акмолинской области было определено количество подтопленных домов.

Они составляли на 19 апреля 2017 года, более 400 домов на 18 улицах города Атбасар. Затопления города Атбасар началось с 16 апреля и закончилась 21 апреля, уровень вод реки Жабай превысила критическую отметку, прорвала защитные дамбы и хлынула в город Атбасар.

По данному событию были загружены

данные ДЗЗ Sentinel-1/2 и Landsat-8 из открытого источника <https://www.earthexplorer.usgs.gov> (см. Таблица 1). Эти данные ДЗЗ покрывают территорию исследования, выделенная прямоугольным белым контуром, представленная ниже в Google Earth (Рисунок 1).

Таблица 1

Спутниковые данные ДЗЗ

№	Спутник ДЗЗ	Дата, время	Диапазон	Данные
1	Sentinel-1B	19.04.2017 07:42:14	Радиоволновой	S1B_IW_GRDH_1SDV_20170419T014212_20170419T014237_005223_009246_D244
2	Sentinel-2A	18.04.2017 12:30:21	Оптический	S2A_MSIL1C_20170418T063021_N0204_R077_T42UVC_20170418T063018
3	Landsat-8	19.04.2017 12:19:52	Оптический	LC08_L1TP_157024_20170419_20170501_01_T1



Рис.1. Территория исследования город Атбасар, Акмолинской области

В основе методологии нахождения водной поверхности лежит способность воды поглощать большую часть электромагнитных волн, где также она отличается температурой от других объектов, что особенно заметно в космических снимках Земли. Как правило, начиная с ультрафиолетового до инфракрасного оптического спектра ДЗЗ, водная поверхность больше поглощает чем отражает обратно электромагнитные волны (Du et al. 2023; Quang et al. 2021). Потому, чистая водная поверхность имеет более темные или темно-синие оттенки в видимом диапазоне. В инфракрасном диапазоне, она имеет более темные оттенки из-за того, что она имеет более низкую температуру. В радиоволновом диапазоне поглощение зависит от частоты, чем выше частота, тем выше поглощение, тем меньше проникающая способность радиоволны в толщу воды (Taloor, Thakur, and Jakariya 2022; Guo et al. 2023). Потому, радиоволны больше поглощаются, меньше обратно рассеиваются, при условии, что вода имеет гладкую поверхность и имеет достаточную глубину (Pivaev et al. 2020).

Вопросом исследования являлось какие данные ДЗЗ Sentinel-1, Sentinel-2 и Landsat-8, т.е., какие спектральные и поляризационные каналы лучше подходят для выявления зоны затопления весеннего половодья. Выдвинута гипотеза, что совместное использование оптических, радиолокационных данных ДЗЗ вместе ГИС данными позволяет выявить территорию наводнения и подтопления домов и зданий от весенних паводков и половодий. Предложен комбинационный метод, включающий логическое суммирование бинарных изображений, полученных из пороговых значений, разделяющих водную и не водные объекты на космических снимках Земли. Алгоритм комбинационного метода с применением логического суммирования приведен ниже (Рисунок 2), который состоит из:

1. **Получение спутниковых данных ДЗЗ** – запрос и загрузка данных из открытых источников;

2. **Вырезка данных** – вырезка исследуемой территории на космоснимках, и выбор специальных спектральных и поляризационных каналов. Под специальными спектральными каналами понимают инфракрасный диапазон космоснимков, под поляризационными каналами понимают поляризованность при передаче и приеме радиоволн (вертикальная и горизонтальная).

3. **Атмосферная коррекция** – это коррекция искажений в спектре, которая вызвана атмосферой Земли (Li, Yan, and Kang 2023);

4. **Фильтрация спекл шума** – подавление шумов в радиолокационном снимке данных ДЗЗ (Sebastianelli et al. 2021);

5. **Геокодирование и изменение пространственного разрешения пикселя** – это процесс конвертирования координат пикселя по строкам и столбцам в изображении к географическим координатам, также приведение пространственного разрешения пикселей к одному общему для всех изображений.

6. **Определение порогового значения и создание бинарных изображений** – данная операция проводится чтобы разделить пиксели в изображении на относящихся к водным объектам и не водным (суша, сельскохозяйственные поля, населенный пункт и т.д.) и представление их в виде черно-белого изображения (бинарного изображения). Пороговое значение определяется из выборки пикселей, относящихся к водным объектам, это его максимальное значение. Пиксели, значения которых выше порогового относятся к не водным объектам, а ниже или равно к водным (Kadapala and Hakeem 2023).

7. **Слияние с использованием логического суммирования** – это простая попиксельная логическая операция ИЛИ-НЕ из ранее полученных бинарных изображений, где входными данными являются операнды 1 и 0, где, не водный объект – «1» (цвет пикселя - белый) и водный объект – «0» (цвет пикселя - черный). Формула слияния с использованием логического суммирования имеет математический вид:

$$W_{is} = (\overline{W_1} \vee \overline{W_2} \vee \overline{W_3} \dots \vee \overline{W_n}) \quad (1)$$

где, W_{is} – пиксель бинарного изображения слияния с использованием логического суммирования;

$\overline{W_1}, \overline{W_2} \dots \overline{W_n}$ – пиксели из бинарных изображений;

ражений, полученных из оптических и радарных данных ДЗЗ Sentinel-1, Sentinel-2 и Landsat-8.

8. **Определение затопленных домов, зданий и земель с использованием ГИС данных** – последняя стадия, где на ГИС данные с

объектами включающие дома и здания накладывается бинарное изображение логического суммирования, где далее, подсчитывается количество объектов, находящихся в зоне затопления.

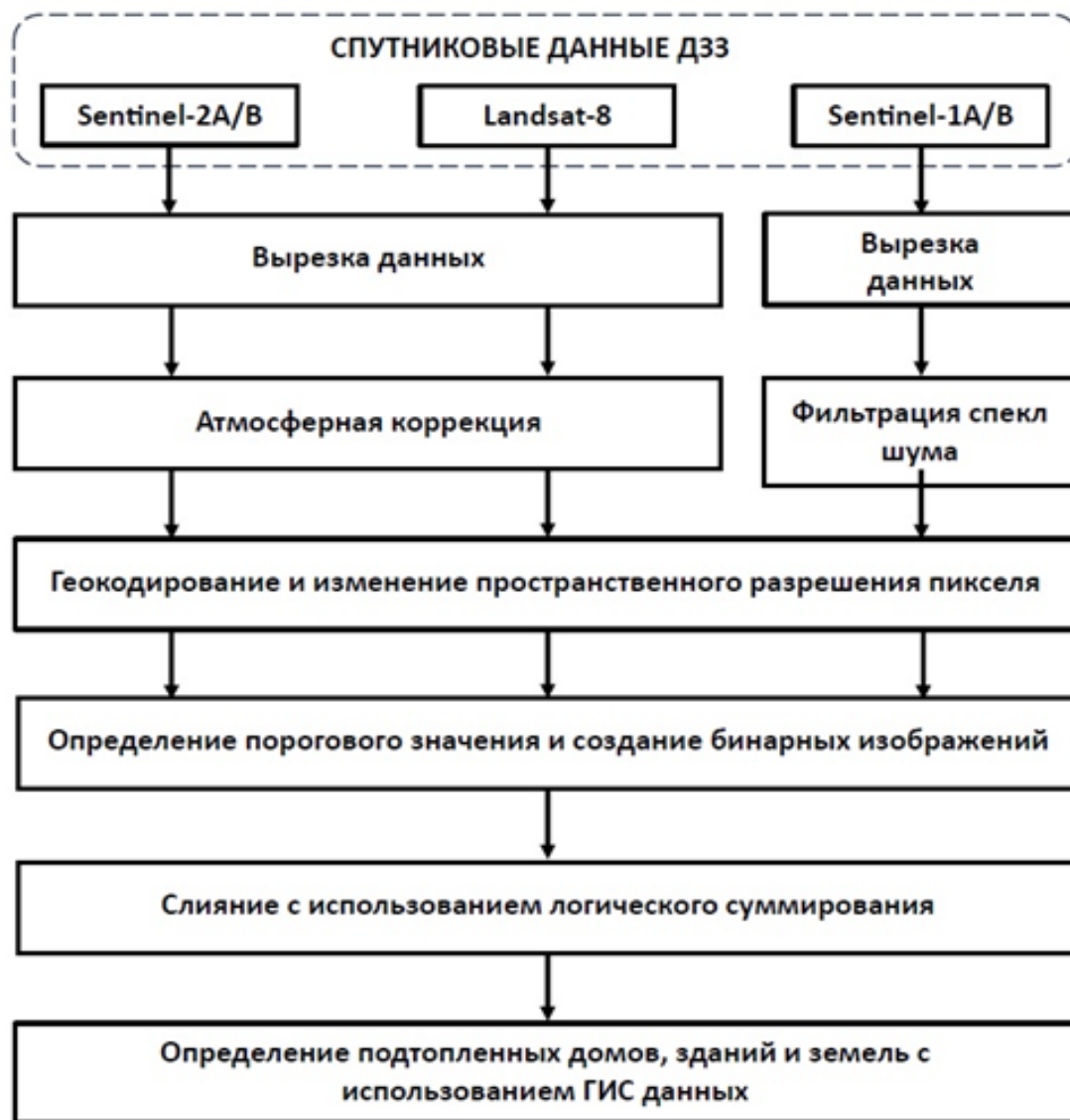


Рис.2. Алгоритм комбинационного метода с применением логического суммирования

Вычисление пороговых значений и создания бинарных изображений проводилось на коммерческом ПО ENVI 5.2. Затопленные дома и здания в городе Атбасар определялись с помощью коммерческого ПО ArcGIS 10.2.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Проанализированы спектры инфракрасного (ИК) диапазона данных ДЗЗ Sentinel-2A и Landsat-8 после атмосферной коррекции, в которых водные объекты резко контрастируют по отношению к другим объектам. Кроме

этого, замечено что местами плотная облачность на космоснике Sentinel-2A частично перекрывает водные объекты, что может ошибочно определено как не водный объект (Рисунок 3). Там еще присутствуют облака, которые создают тени на суше что, может быть ошибочно определено как водный объект при обработке данных ДЗЗ (Рисунок 3). На ИК диапазоне в Band 10, длина волны 1375 нанометр, присутствуют шумы и линейные помехи, по этой причине эти данные далее не рассматриваются для вычисления пороговых значений.



(a)



(б)



(в)



(г)

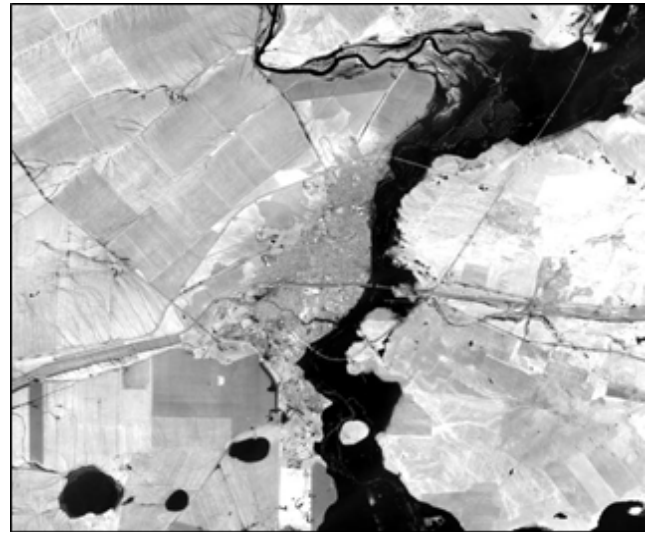
Рис.3. Космоснимок Sentinel-2A в ИК диапазоне, с длинной волны: (a) – ближний ИК диапазон (Band 9), 945 нм; (б) – коротковолновый ИК диапазон (Band 10), 1375 нм; (в) – коротковолновый ИК диапазон (Band 11), 1690 нм; (г) – коротковолновый ИК диапазон (Band 12), 2900 нм

Напротив, на космоснимке Landsat-8 отсутствует облачный покров, что позволяет более точно идентифицировать водный объект. Здесь,

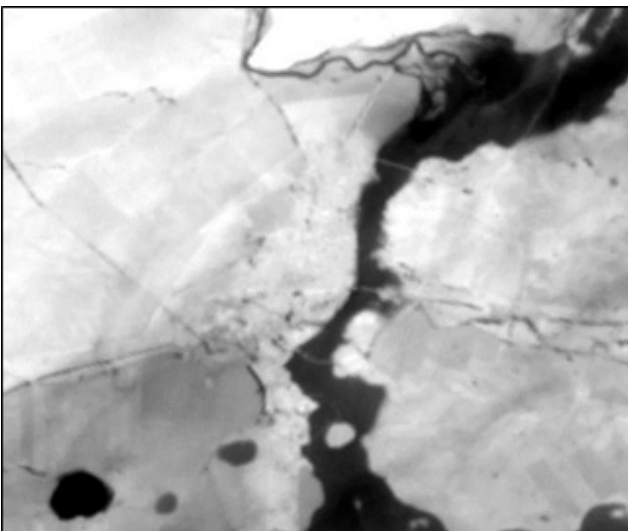
кроме коротковолнового ИК диапазона присутствует тепловое ИК диапазон (Рисунок 4).



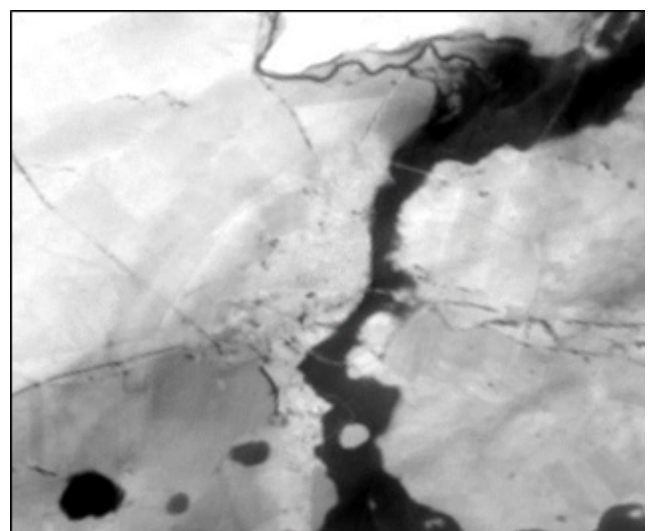
(a)



(б)



(в)



(г)

Рис.4. Космоснимок Landsat-8 в ИК диапазоне, с длиной волны: (а) – коротковолновый ИК диапазон (Band 6), 1560...1660 нм; (б) – коротковолновый ИК диапазон (Band 7), 2100÷2300 нм; (в) – тепловой ИК диапазон (Band 10), 10300...11300 нм; (г) – тепловой ИК диапазон (Band 11), 11500...12500 нм

Коэффициент обратного рассеяния был получен для радиолокационных данных ДЗЗ Sentinel-1В с поляризациями VV и VH, затем спекл-шум (искажение вызванные зернистостью на изображении, похожий на равномерно рассыпанную соль и черный перец) сглаживался с применением алгоритма Ли (Ли фильтрация спекл-шума). Радиолокационное изображение с VV поляризацией имел визуально лучший контраст по интенсивности

в градациях серых оттенков между водным и не водным объектом по сравнению с VH поляризацией. Водные объекты на полученных радиолокационных изображениях имеют более темные оттенки, что в принципе справедливо, так как они хорошие поглотители электромагнитной энергии волны, и имеют крайне малое рассеивание от этих объектов, если имеют гладкую поверхность. Напротив, земная поверхность имеет шероховатость сравнимую

или большую чем длина волны, и потому крыши, стены зданий и домов лучше отражают и рассеивают электромагнитную энергию волны. К примеру, Sentinel-1B имеет радиоволны длиной 5.6 см. Признаки такого отражения и рассеивания радиоволн хорошо видны в ради-

олокационном изображении VV поляризации, городские районы с большим скоплением домов и зданий имеют более яркие по интенсивности пиксели, чем водный объект, который разительно имеет черный оттенок (Рисунок 5.)

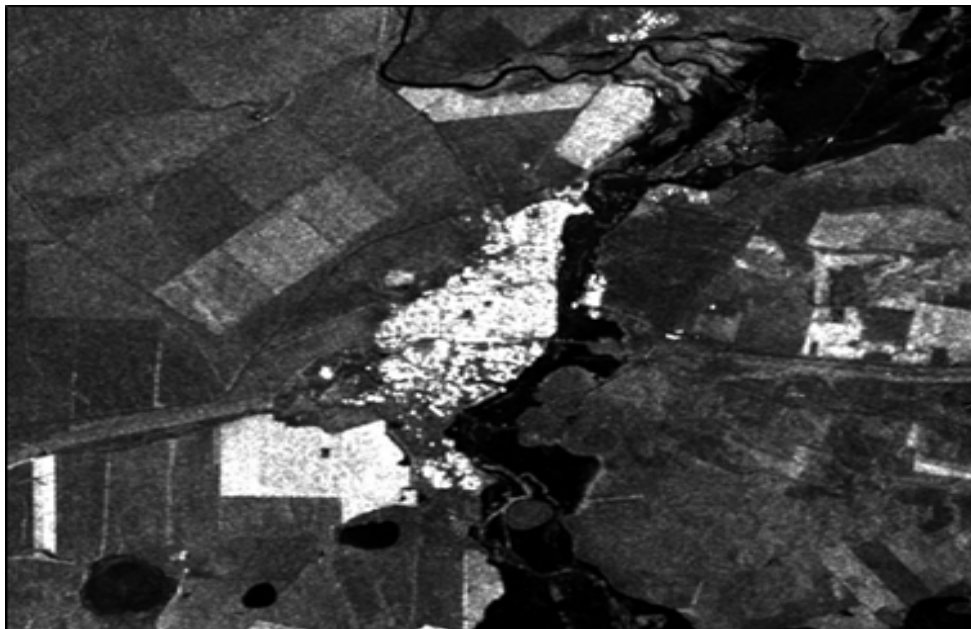


Рис.5. Радиолокационный снимок Sentinel-1B, коэффициент обратного рассеяния VV поляризации после Ли фильтрации спекл-шума

Анализ данных проводился с выборки числовых значений пикселей, относящихся к классу водный объект. Целью этой выборки являлось определение порогового значения, которое позволит нам сделать бинарное заключение о том: если пиксель в изображении принадлежит водному объекту, то пиксе-

лю присваивается значение “0”, если нет, то “1”. Максимальное числовое значение пикселя является тем пороговым значением Th. Область в изображении, с которого извлекались числовые значения пикселей представляет собой белый контур ROI-1 (Рисунок 6).

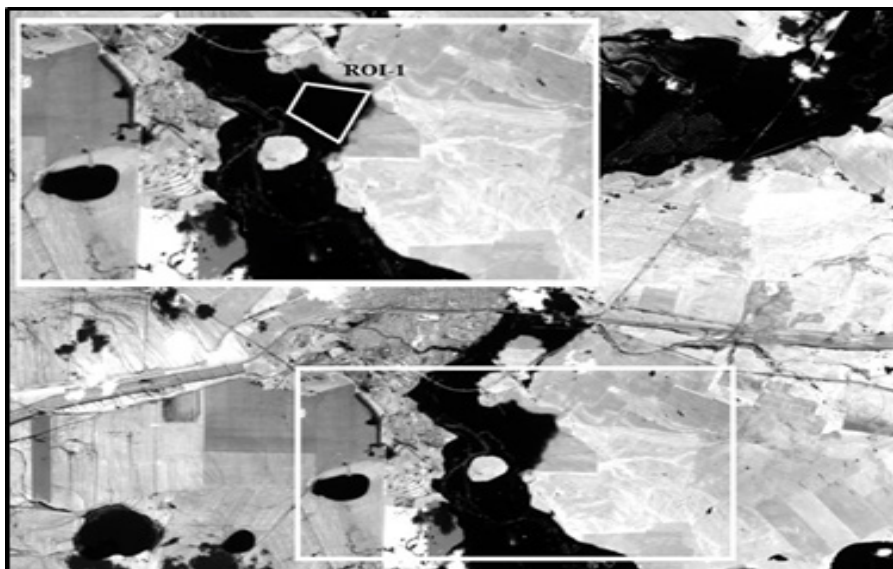


Рис.6. Область ROI-1 (белый контур) водный объект в изображении данных ДЗЗ Sentinel-2A Band 11

Результат вычисления порого- 2A, Landsat-8 и поляризации VV
вого значения ИК диапазонов Sentinel-Sentinel-1B представлен в Таблице 2.

Таблица 2

Пороговые значения, Th

№	Спутник ДЗЗ	Спектр или поляризация	Пороговое значение, Th
1	Sentinel-2A	Band 9	200
2		Band 11	100
3		Band 12	80
4		Band 6	6840
5	Landsat-8	Band 7	6450
6		Band 10	2×10^4
7		Band 11	1.92×10^4
8	Sentinel-1B	VV	25×10^{-3}

Была применена формула в програм- та **Band Math** для разделения двух классов
ме ENVI 5.2 с использованием инструмен- по признакам водный объект и не водный:

$$W^{BP} = (BP \text{ } GT \text{ } Th) \quad (2)$$

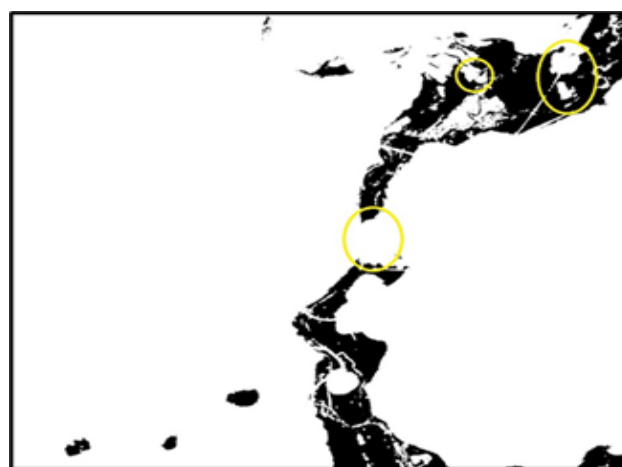
где, W^{BP} - бинарный результат сравнения значения пикселя BP в изображении с пороговым значением Th ; GT – логический оператор Band Math означающий (greater than), который присваивает пикселю значение «1» если BP больше, чем Th в других случаях присваивается значение «0».

Были вычислены бинарные изображения по формуле (2), представляющие изображение классификации черно-белого цвета. На

бинарных изображениях Sentinel-2A Band 9 обнаружены факторы облачности на водном объекте и тени облачности на суше. Однако, в бинарных изображениях Sentinel-2A относящихся ИК спектрам диапазона Band 11, Band 12 отсутствовали факторы тени облачности на суше (Рисунок 7). Поэтому, для логического суммирования суммирования целесообразнее брать эти последние ИК спектры диапазона.



(а)



(б)

Рис.7. Эффект облачности (желтые контуры) на бинарных изображениях (черное – водный объект, белый – суша или не водные объект) Sentinel-2A ИК спектра диапазона, длина волны:
(а) – Band 9, 945 нм; (б) – Band 11, 1690 нм

В бинарных изображениях ИК спектра диапазона относящихся к Landsat-8 была безоблачная погода, потому снимки являются качественными без эффекта облачности по сравнению Sentinel-2A (Рисунок 8). В бинарных изображениях ИК спектра диапазона Sentinel-2A, Landsat-8 не обнаруживаются тонкие по ширине притоки, так как их шири-

на меньше или сравнима с пространственным разрешением этих космоснимков. К примеру, на бинарном изображении коротковолнового ИК диапазона Landsat-8, Band 6 при пространственном разрешении 30 метров видны изгибы притоков на северной части (Рисунок 8а), чем при тепловом ИК, Band 10 имеющий пространственное разрешение 100 метров (Рисунок 8б).

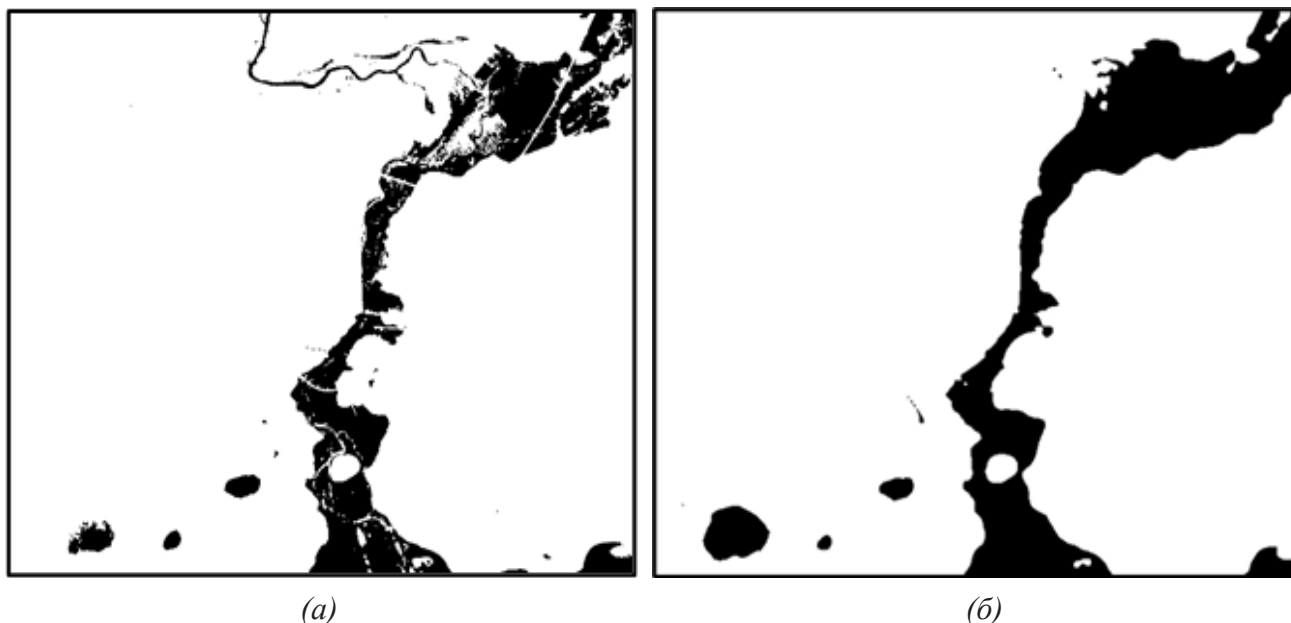


Рис.8. Бинарные изображения Landsat-8 ИК спектра диапазона, длина волны: (а) – коротковолновый ИК Band 6, 1560...1660 нм; (б) – тепловой ИК Band 10, 10300...11300 нм.

Бинарное изображение радиоволнового диапазона VV поляризации Sentinel-1B имеет пространственное разрешение в преде-

лах 15 метров, что позволило лучше определить притоки на северной части (Рисунок 9).

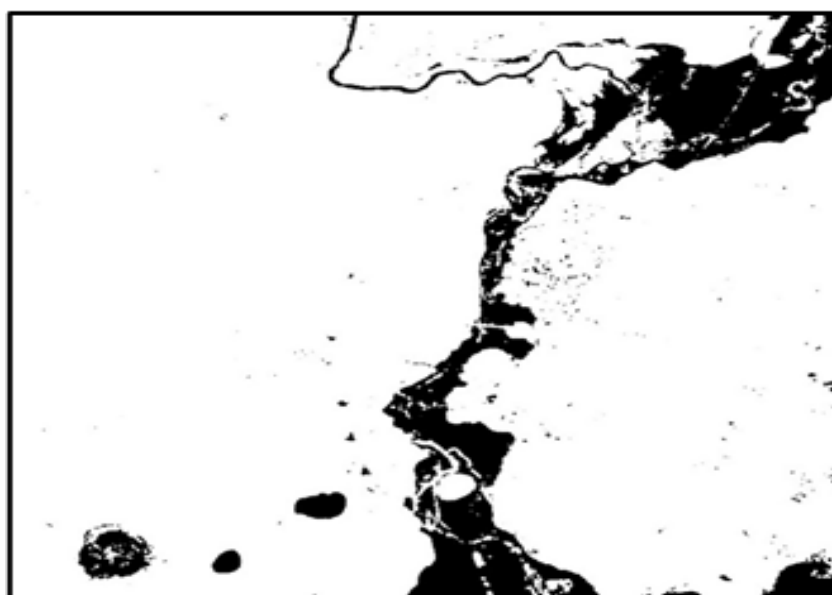


Рис.9. Бинарное изображение VV поляризации Sentinel-1B

Логическое суммирование всех выбранных ИК спектров Sentinel-2A, Landsat-8 и VV поляризации Sentinel-1B устранил эффект облачности, и общее изображение выглядит полнее и достовернее, чем по отдельности взятые бинарные изображения ИК спектров и поляризации (Рисунок 10). Шесть бинарных изображений было логически просуммировано, данная операция называется слиянием, так как

различного ИК спектра и поляризации данные ДЗЗ были использованы совместно. Вместе с этим, ошибка классификации, вызванная неполным затоплением дачного района на севере города Атбасар была устранена после логического суммирования. Данная ошибка классификации возникала на ближнем, коротковолновом ИК спектре и VV поляризации (Рисунок 11).



Рис.10. Бинарное изображение, полученное логическим суммированием спектров ИК диапазона Sentinel-2A (Band 11, Band 12), Landsat-8 (Band 6, Band 10, Band 11) и VV поляризации Sentinel-1B

На ГИС данные города Атбасар было наложено бинарное изображение, полученное логическим суммированием ИК спектров и VV-поляризации данных ДЗЗ Sentinel-2A, Landsat-8 и Sentinel-1B (Рисунок 11). Слой водного объекта, который далее называем зоной затопления или подтопления полностью пере-

крывает северный дачный район, и часть зданий и домов на востоке города Атбасар (Рисунок 12...13). Таким образом, здания или дома находящиеся в зоне затопления мы можем отнести к пострадавшим от весенних паводков и половодий. Нетрудно, далее посчитать количество таких пострадавших зданий или домов.

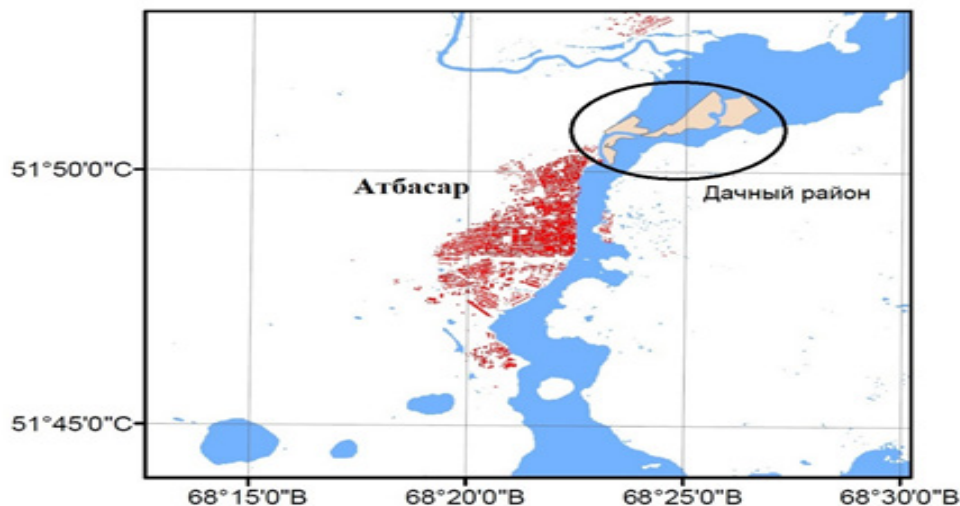


Рис.11. Карта участков затопления весенними паводками города Атбасар

Большая часть северного дачного района оказалась в зоне затопления согласно карте (Рисунок 11), и там находится большинство домиков пострадавших от весенних паводков согласно данным Google

Earth (Рисунок 12). Общее количество пострадавших дачных домиков составило 205.

В восточной части города Атбасар были затоплены около 9 домов, расположенных ближе к реке Жабай (Рисунок 13).



Рис.12. Территория дачных участков с домами подвергшийся затоплению весенними паводками на сервере города Атбасар

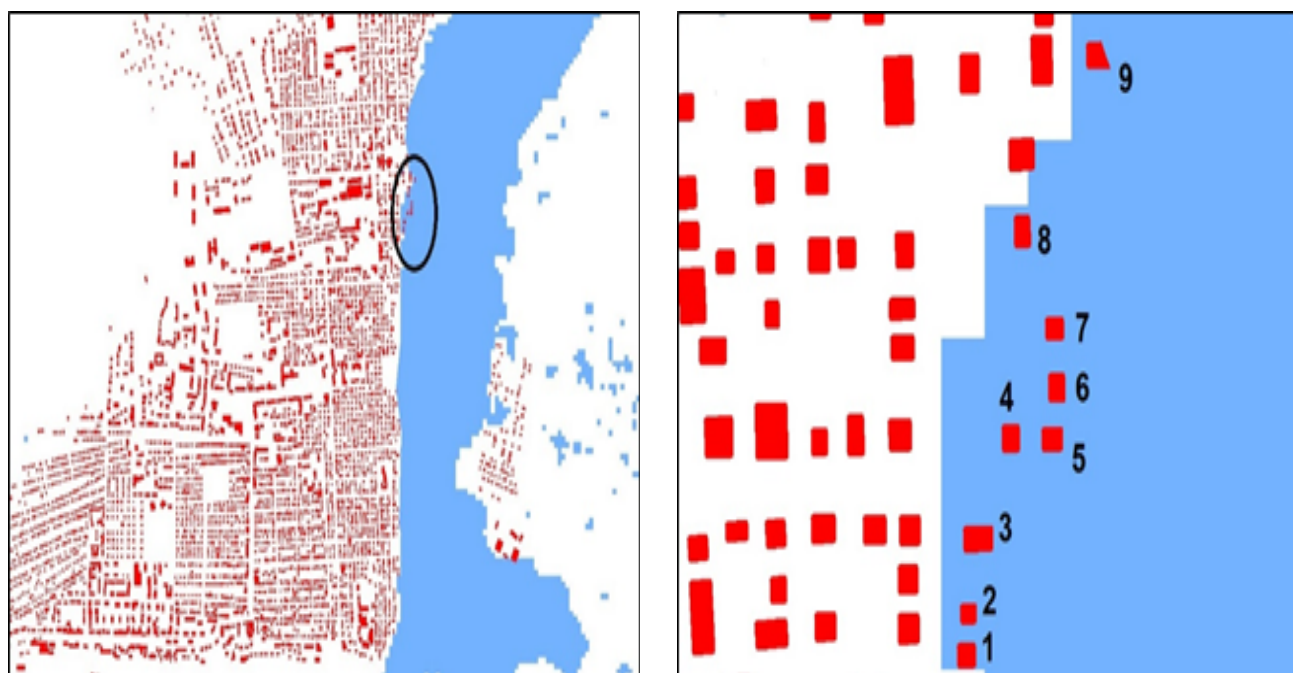


Рис.13. Затопленные дома в результате весеннего половодья в восточной части города Атбасар: левая часть – место затопления (контур эллипсообразный указывает место); правая – увеличенное изображение с затопленными домами (красные цветом обозначены объекты – дома, здания).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Определение широких пространственно и глубоких зон затопления по данным оптических ДЗЗ Landsat-8 и Sentinel-2 лучше осуществляется в инфракрасном диапазоне начиная от ближнего до теплового ИК диапазона при условии отсутствии облачности. По данным официальных источников, фото с места стихийного бедствия, было установлено что вода проникла внутрь города Атбасар, некоторые дома не были полностью затоплены, уровень воды был по колено. Однако, этого уровня было достаточно чтобы признать дома пострадавшими от наводнения. Данные ДЗЗ Landsat-8, Sentinel-2A и Sentinel-1B недостаточны для определения зон затопления весенним половодьем, такого уровня воды, тем более, если минимальное расстояние между домами меньше пространственного разрешение космоснимка. Поэтому, для более точного определения пострадавших домов, необходимы данные ДЗЗ более высокого разрешения, вплоть до использование беспилотных летательных аппаратов (БПЛА), дронов с мультиспектральными камерами. Тем не менее, по космоснимкам 20 метрового разрешения удалось отчетливо определить полностью 9 затопленных домов в восточной части города Атбасар, и дачных домиков на северной части города (более 200 домиков). Это цифра меньше чем указывали официальные СМИ, точность около 52%. Точность может быть значительно повышена если будут использованы данные более высокого пространственного разрешения (к примеру 1 метр) при определении пострадавших домов в плотнозастроенных населенных пунктах. Тем не менее, таким образом зону затопления сельскохозяйственных земель можно определить с большой точностью по сравнению населенным пунктом.

В данном научном исследовании использовался комбинационный метод в котором совместно использовались данные ДЗЗ Landsat-8, Sentinel-2A и Sentinel-1B разного диапазона, т.е., оптического и радиоволнового, которые логически суммировались чтобы компенсировать эффект облачности и более точнее выявить зону затопления. Представленный комбинационный метод с применением пороговых значений и логического суммирования

для определения границы и площади затопления является новым и алгоритм обработки данных ДЗЗ прост. В дальнейшем этот метод может быть доработан, и использован совместно с данными более высокого разрешения для более точного определения водных объектов с малыми площадями и небольшой глубины. Этот комбинационный метод может быть применен специалистами служб МЧС, гидрологами для косвенной оценки ущерба от весенних паводков и половодий, или катастроф связанных, к примеру, при разрушении плотин, дамб.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРА

1. Arkhipkin, O. P., L. F. Spivak, and G. N. Sagatdinova. 2010. «Development of Flood Space Monitoring in Kazakhstan.» *Geoscience and Remote Sensing, New Achievements*: 419-436.
2. Benoudjit, A., and R. Guida. 2019. «A Novel Fully Automated Mapping of the Flood Extent on SAR Images Using a Supervised Classifier.» *Remote Sensing* 11 (7).
3. Du, J., H. H. Zhou, P. A. Jacinthe, and K. S. Song. 2023. «Retrieval of lake water surface albedo from Sentinel-2 remote sensing imagery.» *Journal of Hydrology* 617.
4. Farhadi, H., and M. Najafzadeh. 2021. «Flood Risk Mapping by Remote Sensing Data and Random Forest Technique.» *Water* 13 (21).
5. Ghofrani, Z., V. Sposito, and R. Faggian. 2019. «Improving flood monitoring in rural areas using remote sensing.» *Water Practice and Technology* 14 (1): 160-171.
6. Guo, J., X. P. Wang, B. Liu, K. Liu, Y. Zhang, and C. F. Wang. 2023. «Remote-Sensing Extraction of Small Water Bodies on the Loess Plateau.» *Water* 15 (5).
7. Huang, M. M., and S. G. Jin. 2020. «Rapid Flood Mapping and Evaluation with a Supervised Classifier and Change Detection in Shouguang Using Sentinel-1 SAR and Sentinel-2 Optical Data.» *Remote Sensing* 12 (13).
8. Kadapala, B. K. R., and K. A. Hakeem. 2023. «Region-Growing-Based Automatic Localized Adaptive Thresholding Algorithm for Water Extraction Using Sentinel-2 MSI Imagery.» *Ieee Transactions on Geoscience and Remote Sensing* 61.
9. Kuntla, S. K., and P. Manjusree. 2020. «Development of an Automated Tool for Delineation of Flood Footprints from SAR Imagery for Rapid Disaster Response: A Case Study.» *Journal of the Indian Society of Remote Sensing* 48 (6): 935-944.
10. Lammers, R., A. Li, S. Nag, and V. Ravindra. 2021. «Prediction models for urban flood evolution for satellite remote sensing.» *Journal of Hydrology* 603.
11. Li, A. M., X. Y. Yan, and X. Kang. 2023. «Applicability study of four atmospheric correction methods in the remote sensing of lake water color.» *Geocarto International* 38 (1).
12. Nikolaos, S., K. Kleomenis, D. Elias, S. Panagiotis, L. Panagiota, P. Vagelis, and C. Christos. 2019. «A Robust Remote Sensing-Spatial Modeling-Remote Sensing (R-M-R) Approach for Flood Hazard Assessment.» *Spatial Modeling in Gis and R for Earth and Environmental Sciences*: 391-410.

13. Ongdas, N., F. Akiyanova, Y. Karakulov, A. Muratbayeva, and N. Zinabdin. 2020. «Application of HEC-RAS (2D) for Flood Hazard Maps Generation for Yesil (Ishim) River in Kazakhstan.» *Water* 12 (10).
14. Pivaev, P. D., V. N. Kudryavtsev, E. A. Balashova, and B. Chapron. 2020. «SAR Imaging Features of Shallow Water Bathymetry.» *Physical Oceanography* 27 (3): 290-304.
15. Quang, D. N., N. K. Linh, H. S. Tam, and N. T. Viet. 2021. «Remote sensing applications for reservoir water level monitoring, sustainable water surface management, and environmental risks in Quang Nam province, Vietnam.» *Journal of Water and Climate Change* 12 (7): 3045-3063.
16. Sebastianelli, A., M. P. Del Rosso, S. L. Ullo, A. Radius, C. Clemente, D. Orlando, F. Biondi, and J. Wheeler. 2021. «A filtering problem: SAR speckle filtering.» *Artificial Intelligence Applied to Satellite-Based Remote Sensing Data for Earth Observation* 98: 221-236.
17. Spivak, L., O. Arkhipkin, V. Pankratov, I. Vitkovskaya, and G. Sagatdinova. 2004. «Space monitoring of floods in Kazakhstan.» *Mathematics and Computers in Simulation* 67 (4-5): 365-370.
18. Taloor, A. K., P. K. Thakur, and M. Jakariya. 2022. «Remote sensing and GIS applications in water science.» *Groundwater for Sustainable Development* 19.
19. Wang, L. M., G. W. Jin, and X. Xiong. 2023. «Flood Duration Estimation Based on Multisensor, Multitemporal Remote Sensing: The Sardoba Reservoir Flood.» *Journal of Earth Science* 34 (3): 868-878.
20. Zou, S., J. Abuduwaili, J. L. Ding, W. L. Duan, P. De Maeyer, and T. Van De Voorde. 2020. «Description and Attribution Analysis of the 2017 Spring Anomalous High Temperature Causing Floods in Kazakhstan.» *Journal of the Meteorological Society of Japan* 98 (6): 1353-1368.
21. Тюменев С.Д. Водные ресурсы и водообеспеченность территории Казахстана: Учебник. – Алматы: КазНТУ, 2008. – 267 с.
22. Arkhipkin, O.P., Sagatdinova, G.N., 2016. The use of various optical and radar remote sensing data in operative space monitoring of flood in Kazakhstan. *Journal of Siberian Federal University. Engineering & Technologies*, 9(7), pp. 1045-1058.
23. Arkhipkin, O.P., Sagatdinova, G.N., 2017. The use of polarimetric radar data at space monitoring of high waters and floods. *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa (Current problems in remote sensing of the Earth from space)*, 14(2), pp. 175-184.
24. Arkhipkin, O. P., & Sagatdinova, G. N. (2018). Possibilities of the joint use of optical and radar data in flood space monitoring. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 42, 67-73
2023. «Retrieval of lake water surface albedo from Sentinel-2 remote sensing imagery.» *Journal of Hydrology* 617.
4. Farhadi, H., and M. Najafzadeh. 2021. «Flood Risk Mapping by Remote Sensing Data and Random Forest Technique.» *Water* 13 (21).
5. Ghofrani, Z., V. Sposito, and R. Faggian. 2019. «Improving flood monitoring in rural areas using remote sensing.» *Water Practice and Technology* 14 (1): 160-171.
6. Guo, J., X. P. Wang, B. Liu, K. Liu, Y. Zhang, and C. F. Wang. 2023. «Remote-Sensing Extraction of Small Water Bodies on the Loess Plateau.» *Water* 15 (5).
7. Huang, M. M., and S. G. Jin. 2020. «Rapid Flood Mapping and Evaluation with a Supervised Classifier and Change Detection in Shouguang Using Sentinel-1 SAR and Sentinel-2 Optical Data.» *Remote Sensing* 12 (13).
8. Kadapala, B. K. R., and K. A. Hakeem. 2023. «Region-Growing-Based Automatic Localized Adaptive Thresholding Algorithm for Water Extraction Using Sentinel-2 MSI Imagery.» *Ieee Transactions on Geoscience and Remote Sensing* 61.
9. Kuntla, S. K., and P. Manjusree. 2020. «Development of an Automated Tool for Delineation of Flood Footprints from SAR Imagery for Rapid Disaster Response: A Case Study.» *Journal of the Indian Society of Remote Sensing* 48 (6): 935-944.
10. Lammers, R., A. Li, S. Nag, and V. Ravindra. 2021. «Prediction models for urban flood evolution for satellite remote sensing.» *Journal of Hydrology* 603.
11. Li, A. M., X. Y. Yan, and X. Kang. 2023. «Applicability study of four atmospheric correction methods in the remote sensing of lake water color.» *Geocarto International* 38 (1).
12. Nikolaos, S., K. Kleomenis, D. Elias, S. Panagiotis, L. Panagiota, P. Vagelis, and C. Christos. 2019. «A Robust Remote Sensing-Spatial Modeling-Remote Sensing (R-M-R) Approach for Flood Hazard Assessment.» *Spatial Modeling in Gis and R for Earth and Environmental Sciences*: 391-410.
13. Ongdas, N., F. Akiyanova, Y. Karakulov, A. Muratbayeva, and N. Zinabdin. 2020. «Application of HEC-RAS (2D) for Flood Hazard Maps Generation for Yesil (Ishim) River in Kazakhstan.» *Water* 12 (10).
14. Pivaev, P. D., V. N. Kudryavtsev, E. A. Balashova, and B. Chapron. 2020. «SAR Imaging Features of Shallow Water Bathymetry.» *Physical Oceanography* 27 (3): 290-304.
15. Quang, D. N., N. K. Linh, H. S. Tam, and N. T. Viet. 2021. «Remote sensing applications for reservoir water level monitoring, sustainable water surface management, and environmental risks in Quang Nam province, Vietnam.» *Journal of Water and Climate Change* 12 (7): 3045-3063.
16. Sebastianelli, A., M. P. Del Rosso, S. L. Ullo, A. Radius, C. Clemente, D. Orlando, F. Biondi, and J. Wheeler. 2021. «A filtering problem: SAR speckle filtering.» *Artificial Intelligence Applied to Satellite-Based Remote Sensing Data for Earth Observation* 98: 221-236.
17. Spivak, L., O. Arkhipkin, V. Pankratov, I. Vitkovskaya, and G. Sagatdinova. 2004. «Space monitoring of floods in Kazakhstan.» *Mathematics and Computers in Simulation* 67 (4-5): 365-370.
18. Taloor, A. K., P. K. Thakur, and M. Jakariya. 2022. «Remote sensing and GIS applications in water science.» *Groundwater for Sustainable Development* 19.

REFERENCES

1. Arkhipkin, O. P., L. F. Spivak, and G. N. Sagatdinova. 2010. «Development of Flood Space Monitoring in Kazakhstan.» *Geoscience and Remote Sensing, New Achievements*: 419-436.
2. Benoudjit, A., and R. Guida. 2019. «A Novel Fully Automated Mapping of the Flood Extent on SAR Images Using a Supervised Classifier.» *Remote Sensing* 11 (7).
3. Du, J., H. H. Zhou, P. A. Jacinthe, and K. S. Song.

19. Wang, L. M., G. W. Jin, and X. Xiong. 2023. «Flood Duration Estimation Based on Multisensor, Multitemporal Remote Sensing: The Sardoba Reservoir Flood.» *Journal of Earth Science* 34 (3): 868-878.
20. Zou, S., J. Abuduwaili, J. L. Ding, W. L. Duan, P. De Maeyer, and T. Van De Voorde. 2020. «Description and Attribution Analysis of the 2017 Spring Anomalous High Temperature Causing Floods in Kazakhstan.» *Journal of the Meteorological Society of Japan* 98 (6): 1353-1368.
21. Tyumenev S.D., 2008. *Vodniye resursi i vodoobespechennost territorii Kazakhstana: Uchebnik.* – Almaty: KazNTU, pp. 267.
22. Arkhipkin, O.P., Sagatdinova, G.N., 2016. The use of various optical and radar remote sensing data in operative space monitoring of flood in Kazakhstan. *Journal of Siberian Federal University. Engineering & Technologies*, 9(7), pp. 1045-1058.
23. Arkhipkin, O.P., Sagatdinova, G.N., 2017. The use of polarimetric radar data at space monitoring of high waters and floods. *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa (Current problems in remote sensing of the Earth from space)*, 14(2), pp. 175-184.
24. Arkhipkin, O. P., & Sagatdinova, G. N. (2018). Possibilities of the joint use of optical and radar data in flood space monitoring. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 42, 67-73

ЗАРДАП ШЕККЕН ҮЙЛЕРДІҢ САНЫН, СУ БАСУ АЙМАҚТАРЫНЫҢ АУДАНЫ МЕН ШЕКАРАЛАРЫН БАҒАЛАУ ҮШІН ЖҚЗ РАДИОЛОКАЦИЯЛЫҚ ЖӘНЕ ОПТИКАЛЫҚ ДЕРЕКТЕРІН ҚОЛДАНУ

М.Т. Кусайнова*, Ж.З. Төлеубекова т.ғ.к., А.А. Ахмадия PhD, А.З. Капасова т.ғ.к.

С. Сейфуллин атындағы Қазақ Агротехникалық Зерттеу Университеті, Астана, Қазақстан
E-mail: marzh.kussainova@gmail.com

Мақалада 2017 жылғы көктемгі су тасқынынан су басу аймағын және зардап шеккен Атбасар қалашығының үйлері мен ғимараттарын анықтау нәтижесі келтірілген. Бұл нәтиже Sentinel-2A, Landsat-8 және Sentinel-1B орташа кеңістіктік ажыратымдылықтағы үш қол жетімді ЖҚЗ деректерін қолдану арқылы алынады. Бірінші кезеңде контраст деңгейі бойынша жақын, қысқа толқынды, жылу инфрақызыл (ИК) диапазоны және ЖҚЗ поляризация деректеріне көзбен талдау жүргізілді. Суреттер екі класс арасындағы жоғары контраст деңгейі бойынша таңдалды: су объектісі және су объектісі емес (жер). Екінші кезеңде су объектілеріне қатысты пикселдер үлгісінен шекті мәндер есептелді, содан кейін екілік кескіндер жасалды. Үшінші кезеңде, екілік кескіндер бұлтты әсерді жою және көктемгі су тасқынынан су басу аймағының нәтижесінде пайда болған екілік бейнені табу үшін логикалық түрде суммасы алынды. Төртінші кезеңде алынған екілік сурет Атбасар қалашығының деректері ГАЖ-ға қойылды, онда зардап шеккен үйлер мен ғимараттардың орналасуы мен саны табылды. Осы зерттеуге сәйкес, солтүстікте 200-ден астам саяжай үйлері және Атбасар қалашығының шығыс бөлігінде 9 үй су астында қалғаны анықталды. БАҚ және ресми органдардың мәліметтері бойынша Атбасардағы зардап шеккен үйлердің саны 400-ге жуық. Үш ЖҚЗ деректерімен логикалық қосу әдісі бойынша табылған зардап шеккен үйлердің саны 52% құрады. Жоғары кеңістіктік ажыратымдылықтағы ЖҚЗ деректерін пайдалану кезінде табудың дәлдігін айтарлықтай арттыруға болады. Бұл зерттеудің нәтижелері көктемгі су тасқынынан болған зиянды бағалау кезінде ТЖ қызметі, жергілікті мемлекеттік органдар, сақтандыру компаниялары үшін пайдалы болуы мүмкін.

Түйін сөздер: инфрақызыл диапазон, поляризация, ЖҚЗ, көктемгі су тасқыны, су басу шекарасы мен ауданы

THE USE OF RADAR AND OPTICAL REMOTE SENSING DATA TO ESTIMATE THE NUMBER OF AFFECTED HOUSES, THE AREA AND BOUNDARIES OF FLOOD ZONES

M. Kussainova*, candidate of technical science **Z. Toleubekova**, doctor PhD **A. Akhmadiya**, candidate of technical science **A. Kapassova**

S.Seifullin Kazakh Agro Technical Research University, Astana, Kazakhstan

E-mail: marzh.kussainova@gmail.com

The article presents the result of determining the flooding zone and the affected houses and buildings of the town of Atbasar from the spring floods of 2017. This result was obtained using three available remote sensing data Sentinel-2A, Landsat-8 and Sentinel-1B of medium spatial resolution. At the first stage, remote sensing data of the near, short-wave, thermal infrared (IR) range and polarization by contrast level were visually analyzed. Images were selected based on a high level of contrast between two classes: a water object and a non-water object (land). At the second stage, threshold values were calculated from a sample of pixels related to water bodies, and then binary images were created. In the third stage, binary images were logically summarized to eliminate the cloud effect and find the resulting binary image of the flood zone from spring floods. In the fourth stage, the resulting binary image was superimposed on the GIS data of the town of Atbasar, where the locations and the number of affected houses and buildings were located. According to this study, it was found that more than 200 country houses were flooded in the northern part, and 9 houses in the eastern part of the town of Atbasar. According to media reports and official bodies, the number of affected houses in Atbasar was about 400. The number of affected houses found by the method of logical summation with three remote sensing data was 52%. The accuracy of the location can be significantly improved by using high spatial resolution remote sensing data. The results of this study may be useful for the emergency service, local government agencies, and insurance companies in assessing damage from spring floods.

Key words: infrared range, polarization, remote sensing, spring floods, border and area of flooding.

Сведения об авторе/Автор туралы мәліметтер/Information about author:

Кусаинова Маржан Тлеулиевна – докторант кафедры геодезии и картографии Казахского Агротехнического Исследовательского университете им. С. Сейфуллина, Астана, проспект Женис 62, marzh.kussainova@gmail.com

Толубекова Жанат Зекеновна – кандидат технических наук, ассоциированный профессор, декан факультета Управления земельными ресурсами, архитектуры и дизайна Казахского Агротехнического Исследовательского университете им. С. Сейфуллина, Астана, проспект Женис 62, zh.toleubekova@kazatu.edu.kz

Ахмадия Асет Ахмадиевич – доктор PhD, старший преподаватель кафедры радиотехники, электроники и телекоммуникации Казахского Агротехнического Исследовательского университете им. С. Сейфуллина, Астана, проспект Женис 62, a.akhmadiya@kazatu.kz

Капасова Айзада Зарлыковна – кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры геодезии и картографии Казахского Агротехнического Исследовательского университете им. С. Сейфуллина, Астана, проспект Женис 62, a.kapassova@kazatu.edu.kz

Кусаинова Маржан Тлеулиевна - геодезия және картография кафедрасының, С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университетінің докторанты, Астана қаласы, Жеңіс даңғылы 62, marzh.kussainova@gmail.com

Толубекова Жанат Зекеновна - техника ғылымдарының кандидаты, қауымдастырылған профессор, С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университетінің Жер ресурстарын басқару, сәулет және дизайн факультетінің деканы, Астана қаласы, Жеңіс даңғылы 62, zh.toleubekova@kazatu.edu.kz

Ахмадия Асет Ахмадиевич - PhD доктор, радиотехника, электроника және телекоммуникация кафедрасының аға оқытушысы, С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті, Астана қаласы, Жеңіс даңғылы 62, a.akhmadiya@kazatu.kz

Капасова Айзада Зарлыковна - техника ғылымдарының кандидаты, геодезия және картография кафедрасының С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университетінің аға оқытушысы, Астана, Жеңіс даңғылы 62, a.kapassova@kazatu.edu.kz

Kusainova Marzhan – doctoral student of the Department of Geodesy and Cartography, Kazakh Agrotechnical Research University named after S. Seifullin, 62 Zhenis Avenue, Astana, marzh.kussainova@gmail.com

Toleubekova Zhanat – candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Dean of the Faculty of Land Management, Architecture and Design, Kazakh Agrotechnical Research University named after S. Seifullin, 62 Zhenis Avenue, Astana, zh.toleubekova@kazatu.edu.kz

Akhmadiya Asset – PhD, Senior Lecturer at the Department of Radio Engineering, Electronics and Telecommunications, S. Seifullin Kazakh Agrotechnical Research University, 62 Zhenis Avenue, Astana, a.akhmadiya@kazatu.kz

Kapassova Aizada – candidate of Technical Sciences, Senior Lecturer at the Department of Geodesy and Cartography, Kazakh Agrotechnical Research University named after S. Seifullin, 62 Zhenis Avenue, Astana, a.kapassova@kazatu.edu.kz

Вклад авторов/ Авторлардың қосқан үлесі/ Authors contribution

Қусаинова Маржан Тлеулиевна - разработка концепции, разработка методологии, создание программного обеспечения, проведение статистического анализа, проведения исследования, подготовка и редактирование текста, визуализация

Толеубекова Жанат Зекеновна - разработка концепции, разработка методологии, подготовка и редактирование текста, визуализация

Ахмадия Асет Ахмадиевич - создание программного обеспечения, проведения исследования, ресурсы

Капасова Айзада Зарлыковна- проведение статистического анализа, проведения исследования

Қусаинова Маржан Тлеулиевна - тұжырымдаманы әзірлеу, әдістемені әзірлеу, бағдарламалық жасақтама жасау, статистикалық талдау жүргізу, зерттеу жүргізу, мәтінді дайындау және өңдеу, көрнекілік

Толеубекова Жанат Зекеновна - тұжырымдаманы әзірлеу, әдістемені әзірлеу, мәтінді дайындау және өңдеу, көрнекілік

Ахмадия Асет Ахмадиевич - бағдарламалық жасақтама жасау, зерттеу жүргізу, ресурстар

Капасова Айзада Зарлыковна - статистикалық талдау жүргізу, зерттеу жүргізу

Kusainova Marzhan - concept development, methodology development, creating software, conducting statistical analysis, conducting a research, preparing and editing the text, visualization

Toleubekova Zhanat- concept development, methodology development, preparing and editing the text, visualization

Akhmadiya Asset - creating software, conducting a research, resources

Kapassova Aizada - conducting statistical analysis, conducting a research