

### Космический мониторинг паводка в г. Тулуна. Состояние на 3 июля 2019 года.

Наводнения являются одним из самых частых и серьезных по последствиям типов стихийных бедствий. В России площадь паводкоопасных территорий превышает 400 тыс. км<sup>2</sup>, на территории, подверженной наводнениям расположены более 700 городов, тысячи населенных пунктов. Среднегодовой ущерб от наводнений оценивается примерно в 40 млрд рублей в год. Катастрофические по своим последствиям наводнения не редкость в последние годы: наводнения 2002, 2010, 2012 годов в Краснодарском крае, затопление более чем 625 км<sup>2</sup> в Приморье и города Ленска в Якутии в 2001 году. Одним из инструментов, которые помогут сократить негативные последствия наводнений, является космическая съемка. Наблюдение за паводковой обстановкой и климатическими условиями в верховьях крупных рек с использованием снимков низкого и среднего разрешения могут помочь в выявлении территорий, требующих большего внимания. Для их детального изучения возможно использовать снимки высокого разрешения.

Мониторинг гидрологической ситуации на реках может выполняться автоматически по данным космической съемки. При оценке паводка на реке Ия был использован нормализованный разностный водный индекс NDWI и проведена экспертная проверка его значений. Данный индекс используется для автоматического выявления водного зеркала на основе разницы в отражательной способности воды в зеленом и ближнем инфракрасном диапазонах (рис 1, 2).

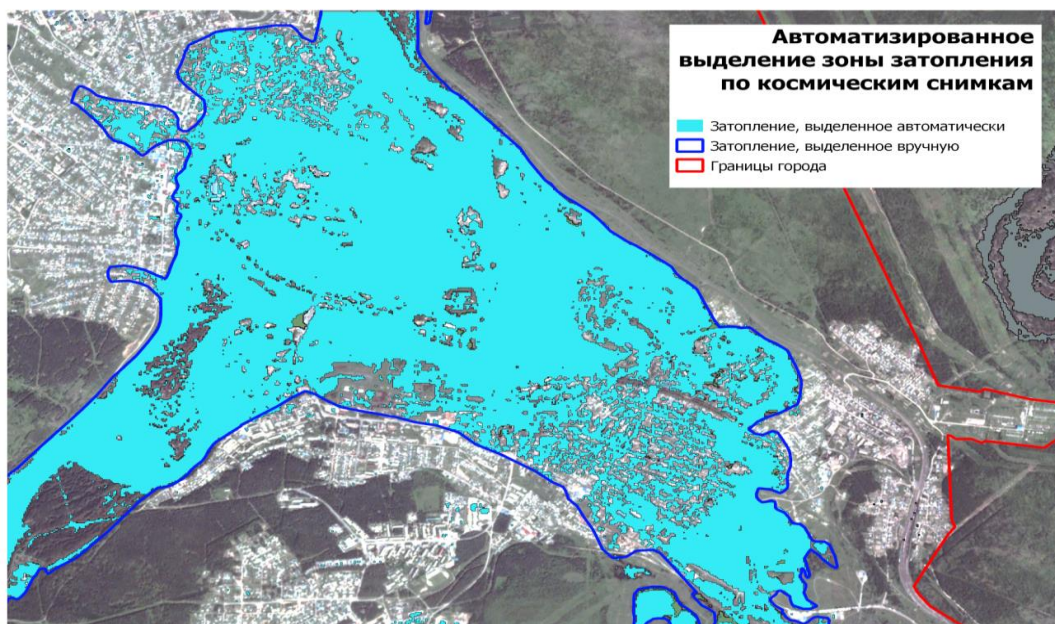


Рис. 1. Зона затопления г. Тулуна, выделенная вручную и на основе индекса NDWI.



### Автоматизированное выделение зоны затопления по космическим снимкам

Водная гладь выявлена по данным съемки Sentinel, по отрицательным значениям нормализованного разностного водного индекса (NDWI)

- Площадь затопления, 01 июля
- Границы города

Рис.2 Расчет индекса NDWI на основе космической съемки.

### Общая ситуация в июне-июле 2019 года.

Паводки в Иркутской области начались в последней декаде июня. Так, 25 июня по данным РИА Новости прошла эвакуация детского лагеря «Заря» в 3 км от Нижнеудинска и отмечен подъем рек Уда и Большая Белая. На следующий день было введено чрезвычайное положение в поселке Соляная Тайшетского района, где подтопило 25 домов, и в г. Нижнеудинске (в 100 км от г. Тулун).

27 июня по данным РИА Новости в 19 населенных пунктах 3 муниципальных районов подтоплены 1801 жилой дом и 206 приусадебных участков, смыто 9 автомобильных мостов, подтоплено 16 участков дорог областного значения. Прогнозировался подъем уровня р. Ия у города Тулуна около 9-10 м при критической норме 7 м. Эвакуировано 654 человека.

На следующий день, 28 июня, число эвакуированных жителей области достигло 842 человек, подтоплены в целом по области 2,39 тысячи жилых домов и 2,52 тысячи приусадебных участков. Из-за превышения уровня р. Уды над критическим на 1,8 м закрыто движение на федеральной трассе Р-255 «Сибирь». Началась эвакуация жителей г. Тулун в связи с разливом реки Ия. К 20:00 (15.00 мск) уровень воды составил 1037 сантиметра при критическом 700 сантиметров (рис.3).



Рис.3. Вид на затопленные кварталы © РИА Новости / Кирилл Шипицин

В городе отключено электричество, не работает водопровод, перекрыта федеральная трасса Р-255 «Сибирь», разрушено множество домов частного сектора (рис.4).



Рис.4. Смытые наводнением частные дома. фотография: Север / Telegram

Уровень воды в районе Тулуна на 8.00 (3.00 мск) 1 июля составил 1091 сантиметр, что на 400 сантиметров превышает критическую норму (рис.5). Из-за затопления нескольких бензоколонок или частного автотранспорта образовалось нефтяное пятно. Вслед за падением уровня воды начались первоочередные работы по восстановлению связи и поставок товаров первой необходимости для пострадавших. Было восстановлено электроснабжение на правом берегу реки Ия.

Падение уровня воды продолжается, однако метеорологи не исключают возможность осадков 6-7 июля и нового повышения уровня воды в реке Ия.



Рис. 5. Затопленные приусадебные участки. Фотография: МЧС России, ТАСС.

В целом по области по данным РИА Новости на 02.07 госпитализировано более 190 человек, из них 38 детей. Эвакуировано 2,6 тыс. человек (в т.ч. 574 ребенка). Сообщается о 14 погибших, 13 пропавших без вести (среди них 1 ребенок). За медицинской помощью обратилось 1258 чел. (в т.ч. 87 детей), госпитализированы 191.

В Тулунском районе сообщается о 9 погибших и 10 пропавших без вести.

Ущерб для дорог регионального значения оценивается в 800 млн рублей, заявил губернатор региона Сергей Левченко - приводит цитату Русская служба ВВС 29 июня. В целом, по предварительным оценкам, ущерб от паводка сельскому хозяйству составил 300

млн рублей. Больше всего пострадали зерновые культуры (подтоплены 3655 га посевов, 25 га картофеля, от воды пострадали хранящиеся на складах 767 тонн зерна), при этом погибли десятки лошадей и свиней, судьба сотен голов крупного рогатого скота неизвестна. Оценки, даже примерные, ущерба городской инфраструктуре и частной собственности жителей пострадавших населенных пунктов пока не названы. Ущерб от последствий паводка в Иркутской области в четырех из шести пострадавших районов должны подсчитать к 3 июля.

В СМИ называется несколько возможных причин паводка, наиболее часто упоминаются осадки: проливные дожди привели к подъему уровня воды в шести местных реках — Бирюса, Уда, Ут, Ия, Икейка и Кирей. По словам доцента географического факультета Иркутского государственного университета Инны Латышевой причина во взаимодействии сразу трех воздушных масс: арктической, субтропической и крайне редкого в регионе выноса влажного воздуха с Тихого океана. Последовавшие обильные дожди на Восточном Саяне привели к разливу рек. В целом, сочетание экстремально засушливых и экстремально влажных периодов в Сибири на фоне глобальных изменений климата становится все более частым. Нельзя исключать повторения столь масштабного наводнения в будущем, отмечают эксперты ИГУ.

## 2. Мониторинг паводка на основе анализа космической съемки

Для анализа ситуации использовались снимки БКА-1 и PlanetScore за период с 29 июня по 1 июля 2019 года. Была определена площадь зеркала воды, вышедшей из русла реки Ия. Данные о динамике изменения зеркала воды (без учета площади русла) даны в таблице 1.

Таблица 1.

Динамика изменения площади зеркала воды в районе г. Тулун.

Дата	Площадь зеркала воды, км <sup>2</sup>	Изменение площади затопления, км <sup>2</sup>	Источник данных
19.06.2019	5,8 - русло реки		БКА-1
29.06.2019	18,9	+ 13,1	PlanetScore
30.06.2019	18,7	- 0,2	PlanetScore

01.07.2019	15,2	- 3,5	PlanetScope
03.07.2019	11,8	- 3,4	PlanetScope

Эвакуация жителей в городе началась 28 числа, и на следующий день был отмечен максимум уровня воды в реке, и как следствие - максимум затопленной площади - 13,1 км<sup>2</sup>.

Постепенное снижение уровня воды в последующие дни видно из графика на рис. 6.

Как указано выше, начало дождевых паводков в Иркутской области пришлось на середину второй декады июня. Поэтому для оценки состояния города Тулун до постигшего его бедствия был использован снимок БКА-1 от 19.06.2019. Русло реки Ия находится в естественных границах, площадь водной поверхности в черте города составляет 5,8 км<sup>2</sup> (рис. 7).



Рис. 6. Динамика изменения затопленной поверхности по данным космической съемки.



Рис. 7. Состояние русла реки Ия на 19.06.2019, снимок БКА-1.

Согласно данным СМИ, пик паводка пришелся на 29 июня, когда уровень воды поднялся до 13,87 метра, в то время как критическая отметка подтопления Тулуна составляет 7 метров. На снимке PlanetScore за эту дату г. Тулун находится в крайнем состоянии стихийного бедствия: река Ия вышла из берегов и затопила около половины жилой части города. Наводнение накрыло центральную, юго-западную и юго-восточную части города. Общая площадь затопленных кварталов составила 13,1 км<sup>2</sup> (рис. 8). Граница подтопленной территории проходит по центральной улице города, отделяя более высокую часть левого берега реки.

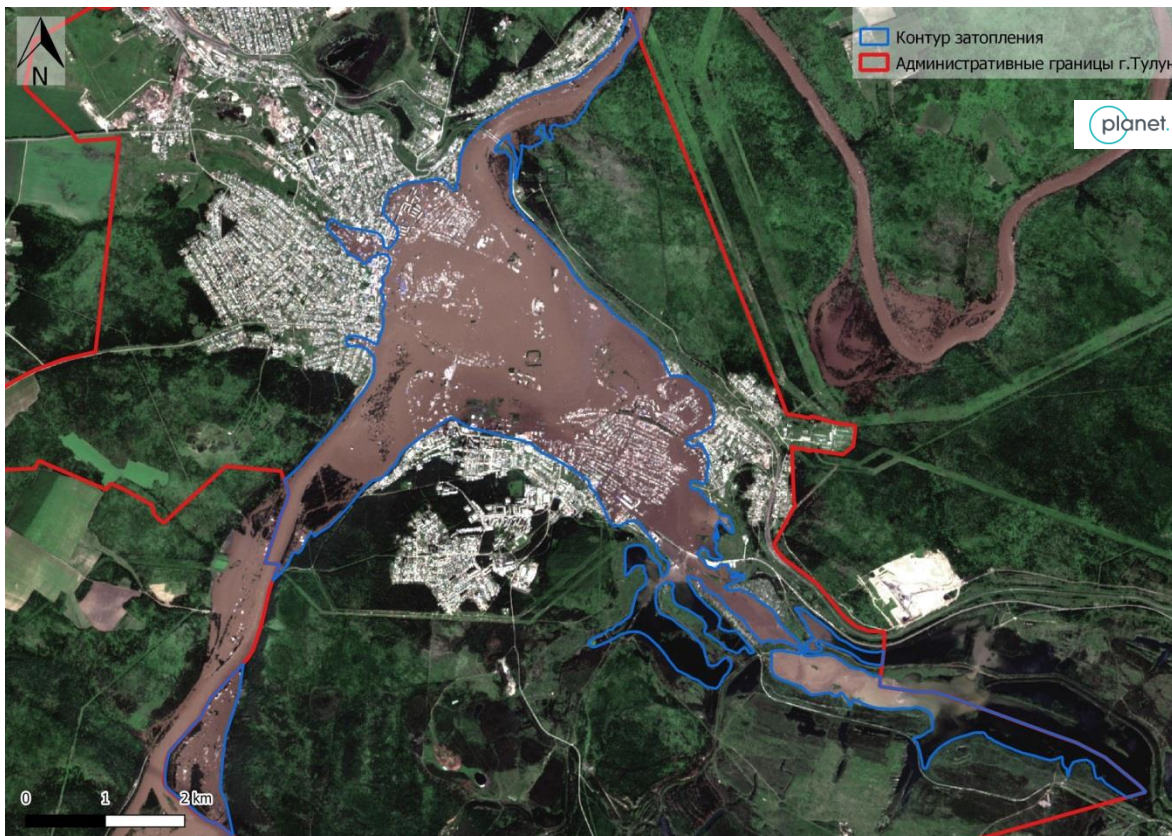


Рис. 8. Снимок PlanetScope за 29.06.2019

На следующий день, 30 июня, границы паводка изменились несущественно и площадь затопления составила 12,9 км<sup>2</sup> (рис. 9). На обоих снимках хорошо видно подтопление расположенного в изгибе реки центра города. Нетронутыми остались восточные кварталы города, в том числе одноименная ж/д станция на Транссибирской железной дороге.



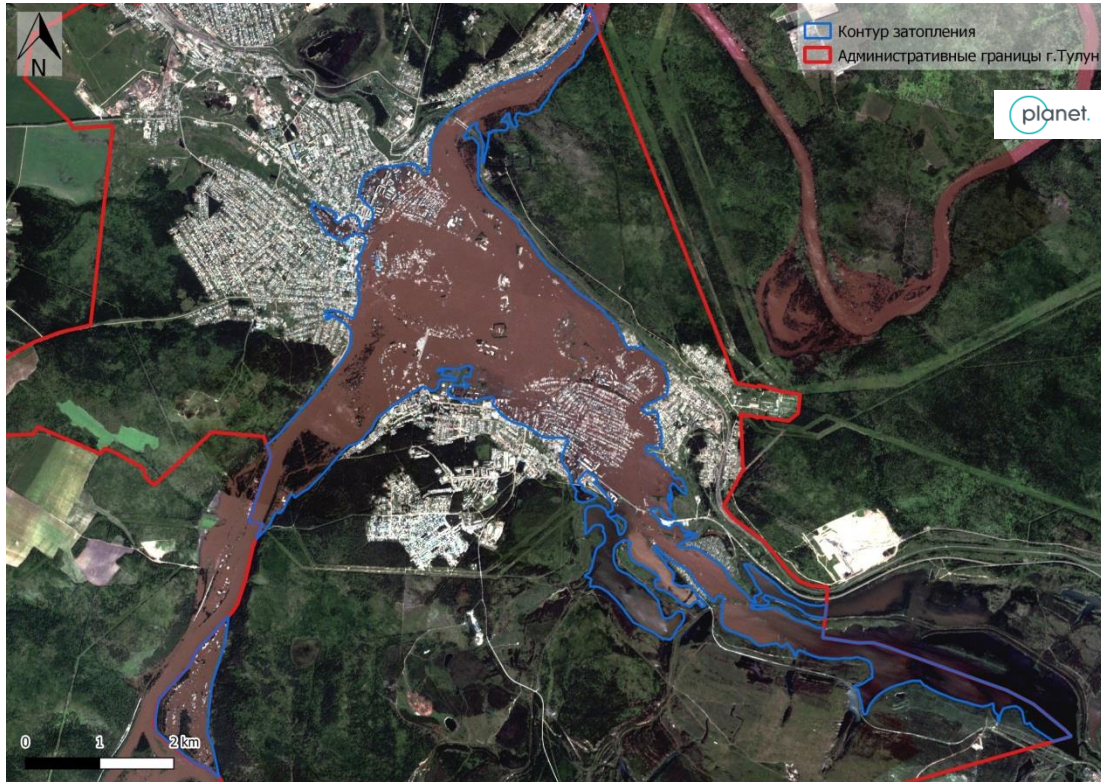


Рис. 9. Снимок PlanetScope за 30.06.2019

В понедельник, 1 июля, отмечено снижение уровня реки и как следствие - уменьшение площади водного зеркала (рис. 10).

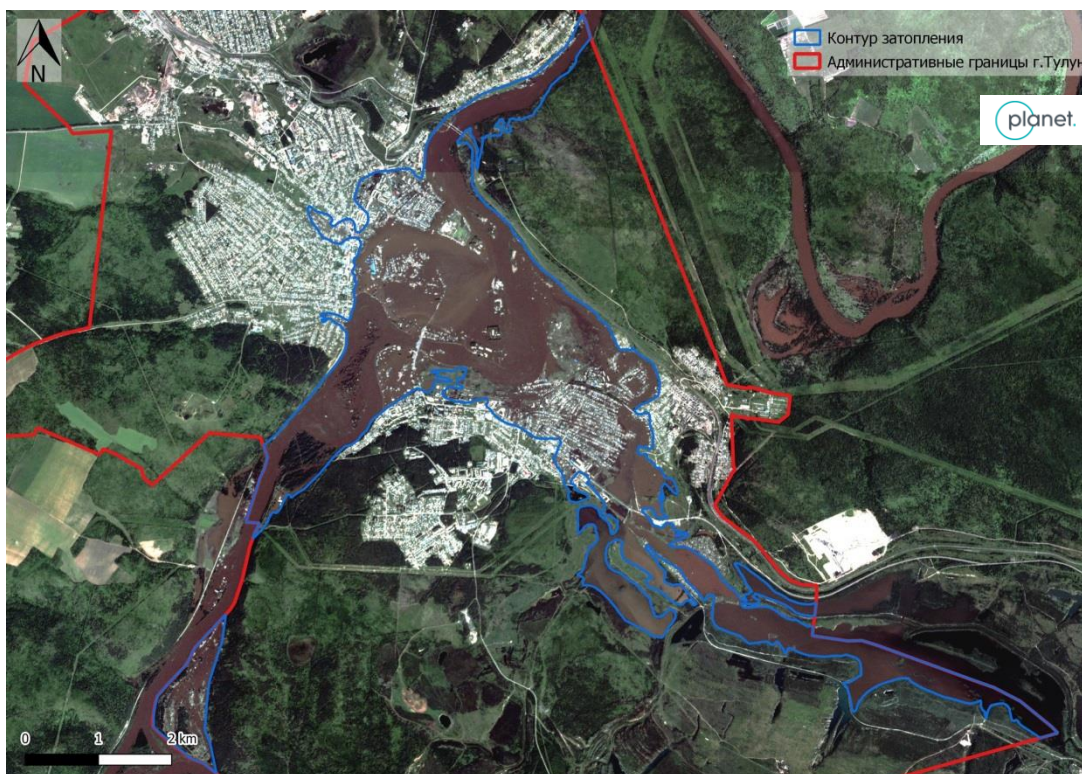


Рис. 10. Снимок PlanetScope за 01.07.2019

На 1 июля 2019, согласно данным космической съемки PlanetScope, город еще находится в режиме стихийного бедствия, однако уровень воды в городе спал и площадь наводнения снизилась до 9,4 км<sup>2</sup> (на 3,7 км<sup>2</sup> меньше по сравнению с предыдущим снимком).

По состоянию на 3 июля 2019, ситуация в городе улучшилась: уровень воды существенно упал, а площадь затопления сократилась на 3,4 км<sup>2</sup> и составила 6 км<sup>2</sup> в целом. Большая часть воды ушла с юго-западной и центральной областей города, однако разрушения и заторы (в частности крупный затор на мосту трассы Р-255) еще не устранены (рис.11).

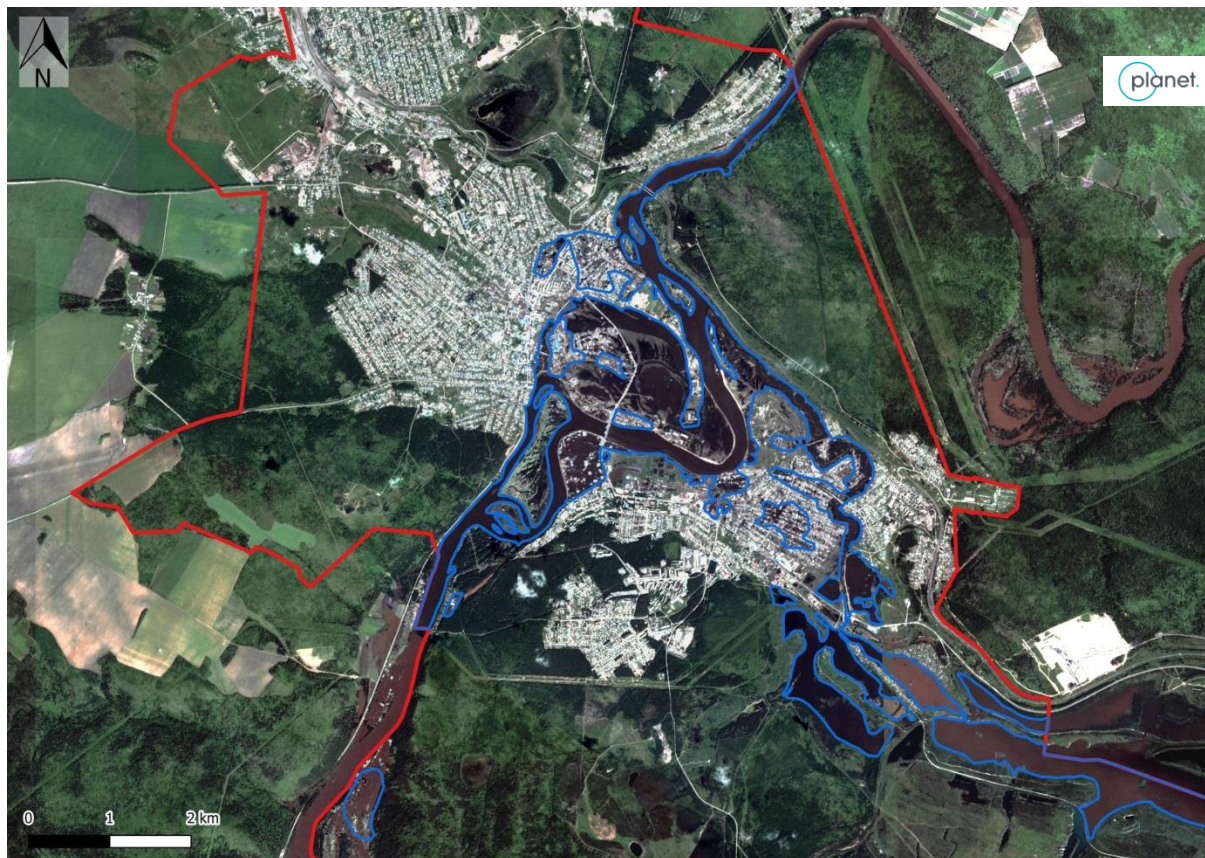


Рис.11. Снимок PlanetScope за 03.07.2019

Больше всего пострадал центр города (федеральная трасса Р-255 «Сибирь», улица Юбилейная), где уровень воды поднялся выше всего. В то же время, некоторые кварталы на юго-востоке города (улица Черняховского, Нагорный переулок) оказались лишь частично затоплены. Не пострадал район железнодорожной станции Тулун и расположенные на высокой части левого берега объекты.

Специалисты АО «Терра Тех» провели экспресс анализ результатов воздействия паводка. На приведенном ниже рисунке 12 приведены примеры последствий паводка, диагностируемые по космическим снимкам.

**Полное затопление территории****Частичное затопление территории****19 июня 2019****1 июля 2019**

Рис. 12. Эталонные изображения последствий паводка (снимки БКА-1 и PlanetScore, соответственно)

На оперативной космической съемке от 1 июля хорошо виден затор, образовавшийся рядом с опорами моста федеральной трассы Р-255 «Сибирь» (рис. 13, 14, 15). После максимального подъема уровня реки Ия 29 июля около 300 частных домов были снесены потоком воды и заперли пролет моста. Нельзя исключить, что это оказало влияние на темпы спада воды в последующие дни.

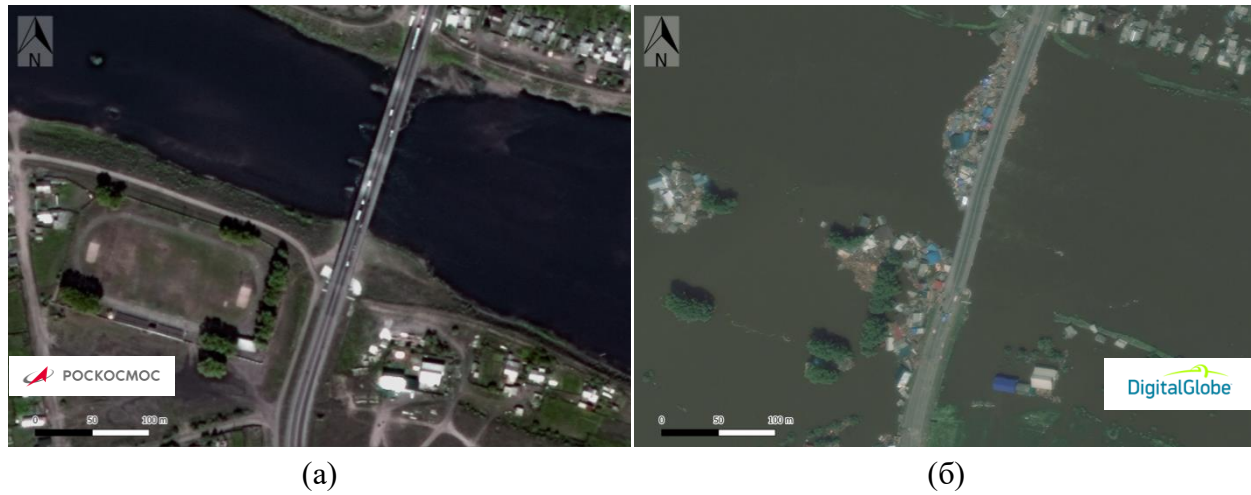


Рис. 13. Мост трассы Р-255 «Сибирь» до и после наводнения: (а) РесурсП от 08.08.17, (б) EarthWatch от 01.07.19.



Рис. 14. Затопление под пролетом моста трассы Р-255 «Сибирь» (снимок EarthWatch от 01.07.19)



Рис. 15. Затоп под пролетом моста трассы Р-255 «Сибирь» (снимок EarthWatch от 01.07.19).

Также скопления снесенных течением домов были обнаружены выше по течению на улицах Профсоюзной, Буденного и 3-ем Кировском переулке (рис. 16, 17). Как видно из данных спутникового мониторинга, большая часть домов оказалась полностью погруженной в воду. Другие дома плавают на поверхности воды в разрушенном состоянии.



(a)



(б)

Рис. 16. Ул. Профсоюзная до и после наводнения: (а) РесурсП от 08.08.17, (б) EarthWatch от 01.07.19.



Рис. 17. Дома снесенные течением на ул. Профсоюзной (снимок EarthWatch от 01.07.19).

На рисунке 18 приведен график площади затопления города Тулун. К 29.06.2019 г. площадь затопления города Тулун составила 13,12 км<sup>2</sup>. По данным ДЗЗ площадь затопления к 30.06.2019 уменьшилась на 0,2 км<sup>2</sup> и составила 12,9 км<sup>2</sup>. К 01.07.2019 г. вода значительно спала, площадь затопления уменьшилась на 3,72 км<sup>2</sup> и составила 9,4 км<sup>2</sup>. По состоянию на 03.07.2019 площадь затопления снизилась еще на 3,4 км<sup>2</sup>, и на данный момент составляет 6 км<sup>2</sup>.



Рис. 18. График площади затопления города Тулун (в пределах административных границ)

Возможно предположить, что медленные темпы снижения уровня воды могут быть связаны как с образованием заторов из унесенных стихией частных домов, так и с сужением русла реки ниже по течению от города.

### 3. Оценка повреждений и последствий

Известное с XVIII в. поселение Тулун начало активно развиваться с созданием Транссибирской железной дороги, и получило статус города в 1926 году. Население города составляет 41 671 человек по данным переписи 2017 года. Площадь административной единицы в 134 км<sup>2</sup> значительно превышает реальную площадь застройки. Большая часть города занята частными домами, в том числе с приусадебными участками. Многоэтажную жилую застройку можно встретить только на центральной улице, где расположены, например, пятиэтажные панельные здания 1979-1982 гг постройки. К северу от центральной части города проходит транссибирская железная дорога, его пересекает трасса федерального значения Р-255 «Сибирь». Контур затопленной части города представлен на рис. 19.



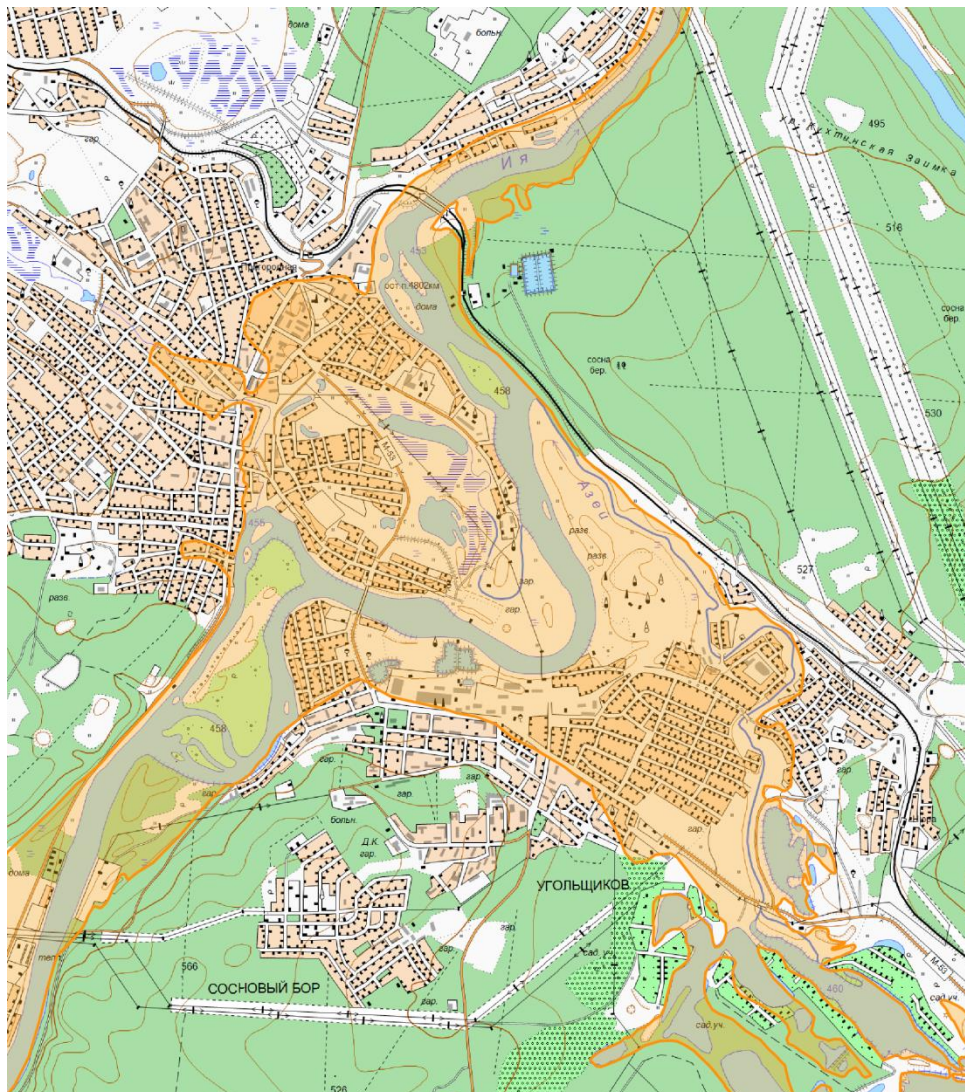


Рис. 19. Затопление города Тулун по данным ДЗЗ на 29.06.2019.

Анализ затопления города включал в себя выделение следующих категорий зданий:

1. Жилые дома; В эту категорию включены одноэтажные деревянные, кирпичные и панельные дома.
2. Жилые многоэтажные дома; В эту категорию входят многоэтажные (количество этажей  $>3$ ) кирпичные и панельные дома.
3. Нежилые здания; В эту категорию входят такие здания, как детские сады, школы, администрации, магазины, гаражи, крытые рынки, офисы.
4. Промышленные здания; В эту категорию входят все здания относящиеся к каким-либо фабрикам, заводам, производствам.

Ниже представлены примеры всех вышеперечисленных категорий строений, которые были дешифрованы на космическом снимке от 08.08.2017 со спутника Ресурс П (рис. 20).



Эталон дешифрирования: Жилые дома



Эталон дешифрирования: Многоэтажные дома



Эталон дешифрирования: Нежилые здания



Эталон дешифрирования: Промышленные здания

Рис. 20. Эталоны типов строений для дешифрирования.

На рисунке 21 приведена картосхема затопления строений на 29 июня. Различными цветами выделены четыре основные категории зданий в зоне паводка. Экспресс мониторинг зоны затопления показал, что на 29 июня было затоплено 2629 жилых, 282 нежилых, 103 промышленных и 31 жилых многоэтажных строений. В их числе оказались важные объекты инфраструктуры города, например, Тулунский специальный детский дом, разнообразные склады в излучине реки, окружен водой и городской суд. Близко подошли

воды реки Ия к городской больнице, расположенной на левом берегу поблизости от железнодорожного моста.

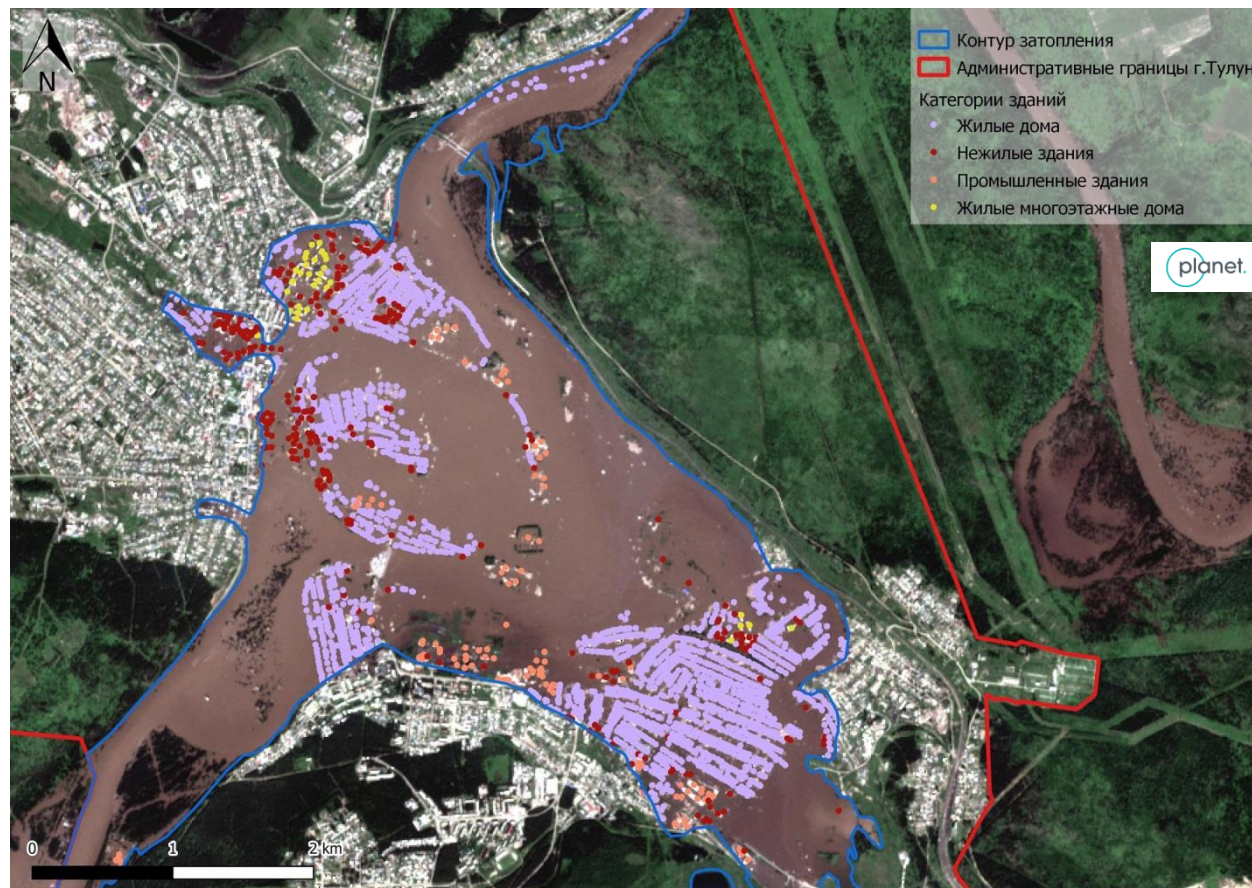


Рис 21. Картограмма затопления строений г. Тулун по данным PlanetScope на 29.06.2019

На рисунке 22 приведена картограмма затопления строений на 30 июня. Экспресс мониторинг зоны затопления показал, что на 30 июня было затоплено 2585 жилых одноэтажных, 254 нежилых домов, 85 промышленных и 31 жилое многоэтажное здание.

Ситуация с затоплением центральной части города 30 июня несколько улучшилась. К западу от улицы Ленина наблюдается незначительный спад воды, освободилась часть приусадебных участков в районе улицы Виноградова. Не пострадали здания школ №1 и №4, но в центральной и восточной частях города ситуация остается тяжелой: например, по-прежнему затоплена территория Тулунского специального детского дома, ряда промышленных предприятий на правом берегу.

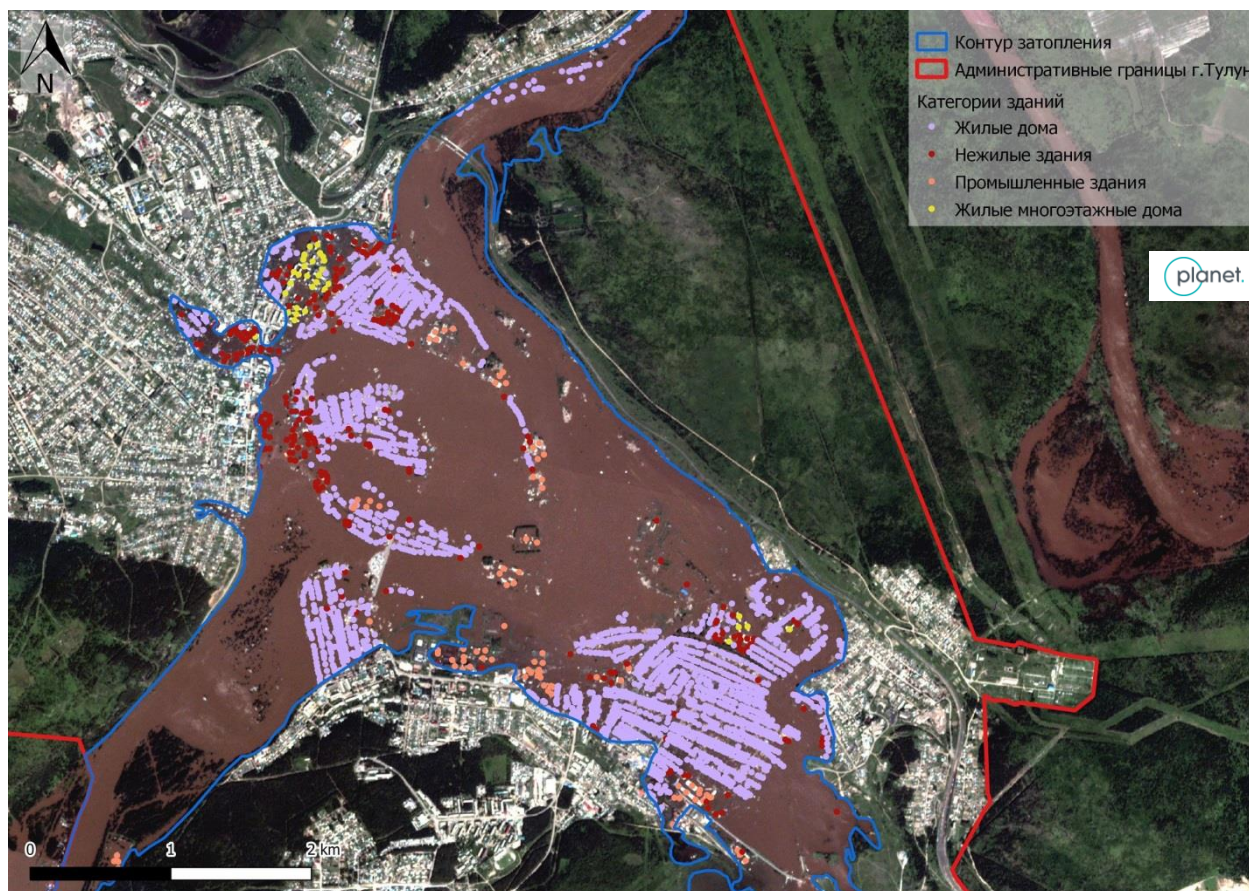


Рис 22. Картограмма затопления строений г. Тулун по данным PlanetScope на 30.06.2019.

Падение уровня воды в реке Ия становится очевидным при взгляде на снимки от 1 июля (рис. 23). Так, экспресс мониторинг зоны затопления показал, что 1 июля вода начала отступать и осталось затоплено 1885 жилых одноэтажных, 179 нежилых, 40 промышленных и 6 многоэтажных жилых строений. Освободился от воды квартал между Мясокомбинатской и Больничной улицами, занятый преимущественно частной застройкой. Постепенно сходит вода и на правом берегу, между Гидролизной улицей и улицей Карбышева.

К среде положительная динамика становится более заметной (рис. 24). Экспресс мониторинг зоны затопления показал, что 3 июля вода продолжает отступать и затопленными остались 1242 жилых одноэтажных, 87 нежилых 16 промышленных строений. Почти целиком освободилась центральная улица города. Федеральная трасса Р-255 «Сибирь» теперь большей частью видна в черте города, тогда как на снимках за предыдущие дни выделялся лишь мост через реку Ия, по причине собравшегося у его опор затора из смытых частных домов.

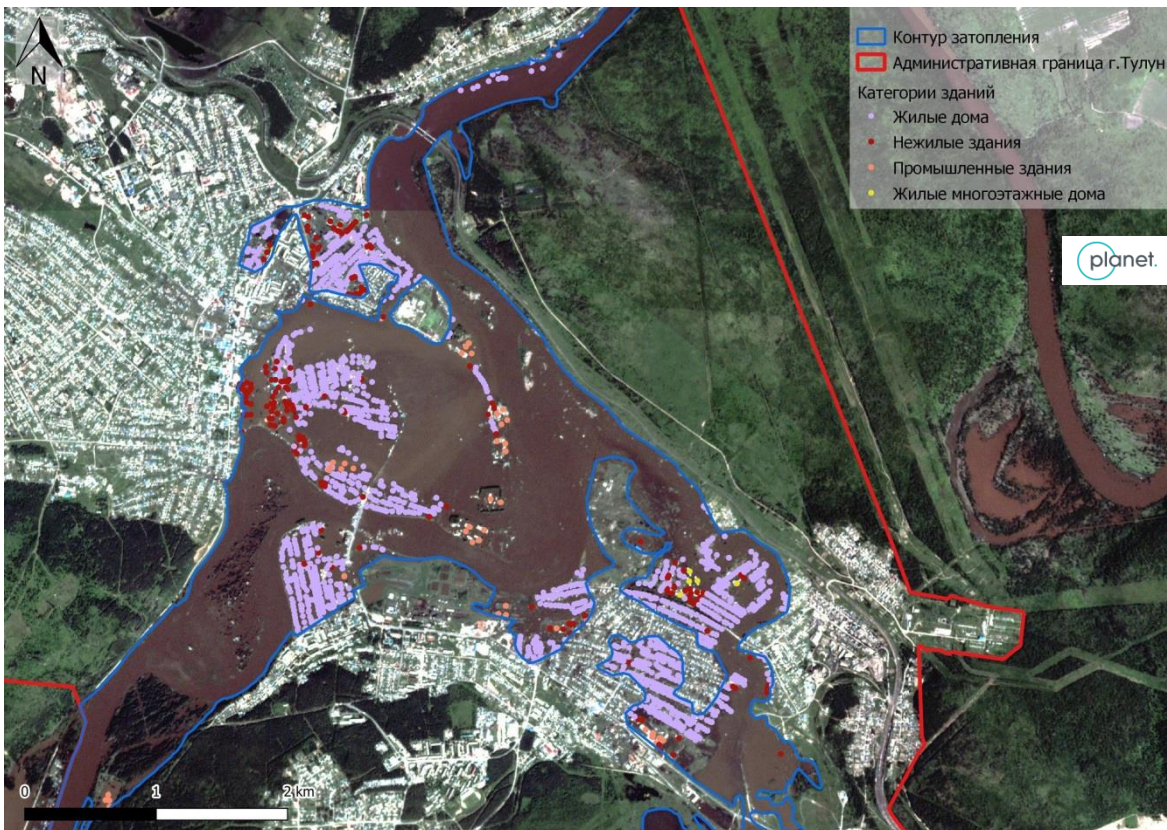


Рис 23. Картограмма затопления строений г. Тулун. PlanetScore от 01.07.2019

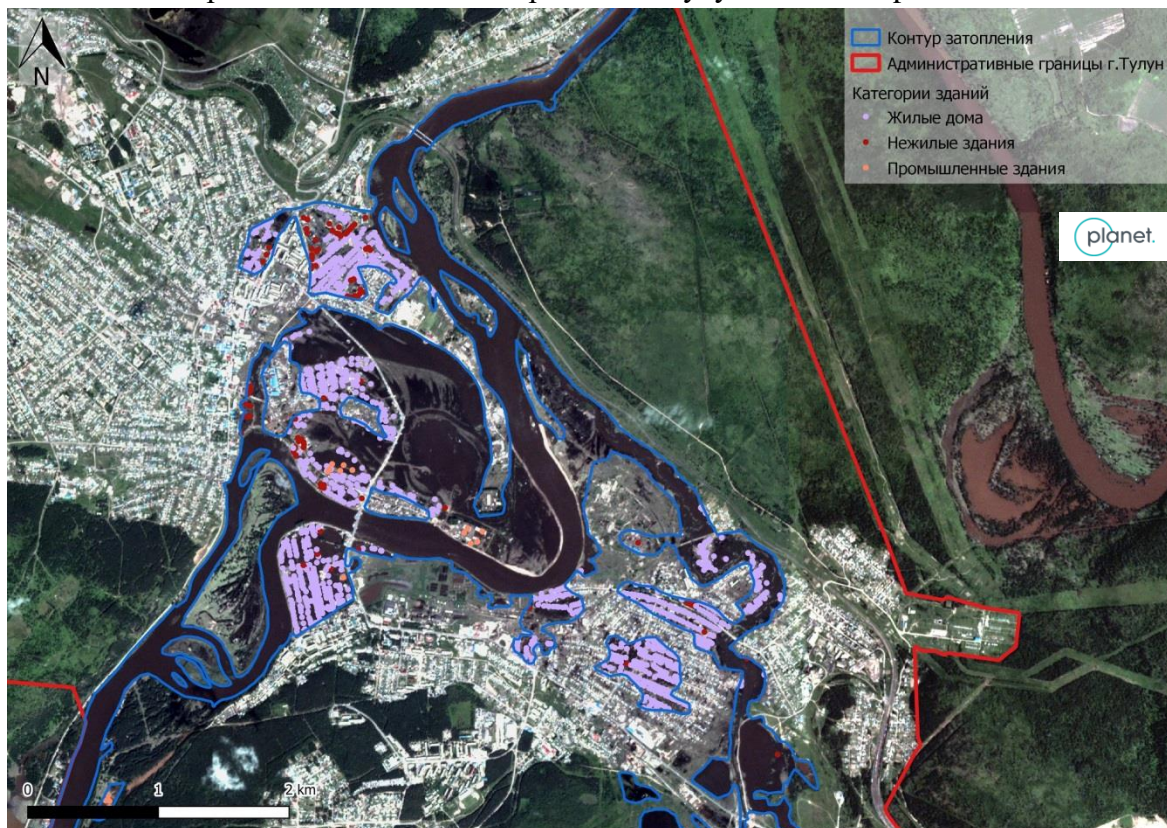


Рис. 24. Картограмма затопления строений г. Тулун. PlanetScore от 03.07.2019

В период с 29 июня по 3 июля 2019 года наиболее пострадали дома частного сектора. Из промышленных и коммерческих построек, ушедших под воду, можно выделить мясокомбинат «Тулунский мясной двор», Тулунскую кондитерскую фабрику, Тулунский гидролизный завод, стадион «Химик», мэрию города, центральную подстанцию и другие (см. таблицу 2).

Таблица 2.

Число затопленных зданий в городе Тулун с 29 июня по 3 июля 2019 г.

Типы строений	29.06.2019 г.	30.06.2019	01.07.2019 г.	03.07.2019
Жилые	2629	2585	1885	1242
Нежилые	282	254	179	87
Промышленные	103	85	40	16
Жилые многоэтажные	31	31	6	0

Наиболее пострадали здания вдоль улиц Ленина, Юбилейной, Гидролизной, Карбышева и смежных им. Тем не менее, территория ОАО «Восточно-Сибирский комбинат биотехнологий», занимающегося синтезом химических веществ, сравнительно не пострадала, также как и станция Транссибирской железной дороги, носящая имя города и расположенная в более чем 4 км от русла реки. Впрочем, наводнение миновало почти все полотно основной ветки железной дороги и железнодорожный мост, расположенные к северу от центральной части города. В центре оказались затоплены первые этажи многоэтажных зданий (31 шт) по улице Ленина. Большая их часть была построена в 1978-1982 гг. Кроме того, оказались подтоплены не входящие в зону затопления здания на улицах Ленина, Володарского, Виноградова. Частично подтоплен трасса Р-255 «Сибирь».

Более наглядно динамика затопления города видна на рис. 25.

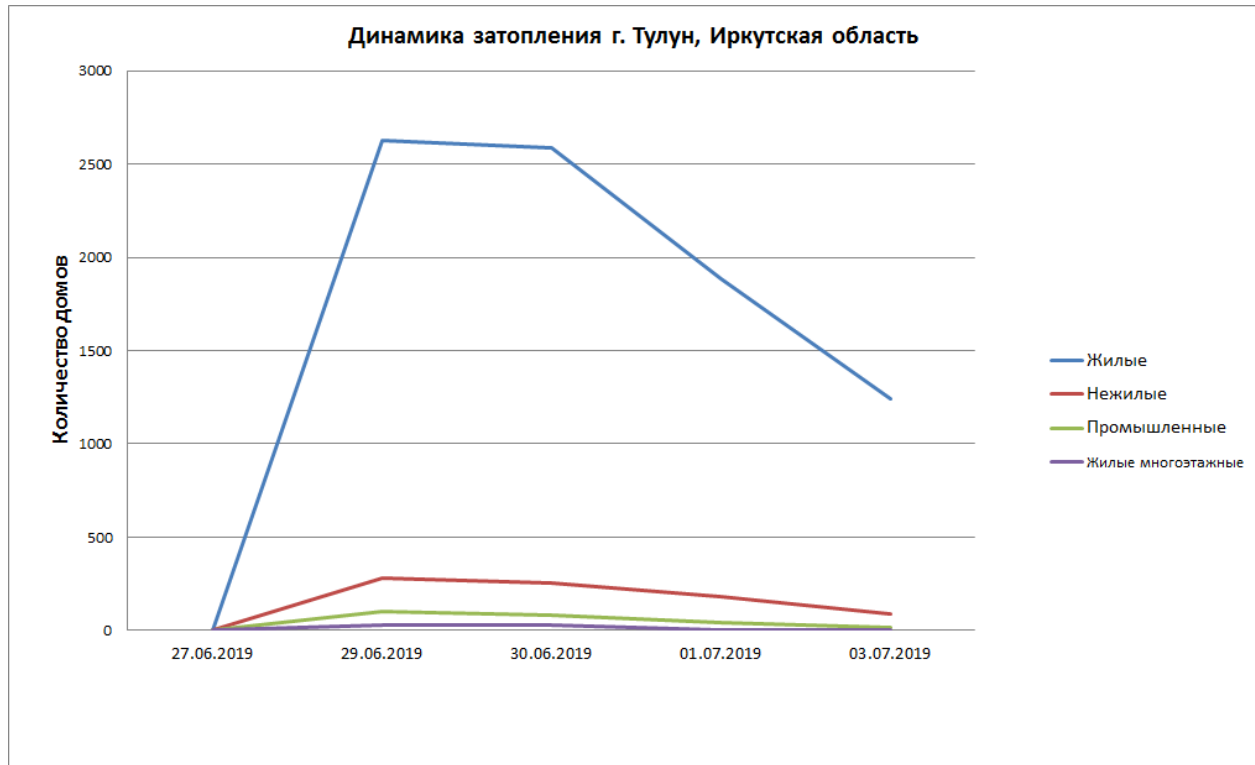


Рис.25. Динамика затопления г.Тулун.

Таким образом, можно предположить, что в целом убытки будут связаны с разрушением частных домов.

К настоящему моменту паводок на реке Ия спадает, однако полностью определить ущерб городской инфраструктуре и частной собственности жителей только предстоит. Нельзя также исключать и повторного поднятия уровня воды в ближайшие дни. Специалисты АО «Терра Тех» продолжают отслеживание ситуации в оперативном режиме.

Использование индекса NDWI оправдано. Его автоматизированный расчет хорошо зарекомендовал себя для крупных водных объектов, однако использование его для мониторинга паводков в городской черте несет ряд ограничений: так, остаются невыделенными верхушки деревьев и крыши зданий, выделяющиеся над водным зеркалом, несмотря на то, что они по сути тоже являются затопленной территорией

При оперативном получении данных спутниковой съемки угрожаемых районов в период половодья возможна организация непрерывного мониторинга с выявлением динамики водного зеркала и предупреждением о резком подъеме уровня воды в автоматическом режиме. Данная методика может стать ценным дополнением к существующей системе мониторинга водных объектов. В дальнейшем анализ ряда снимков за весь период половодья / паводка может предоставить ценную информацию для оценки ущерба. При привлечении многолетнего ряда наблюдений данные дистанционной



съемки могут предоставить дополнительные сведения для выявления участков, потенциально подверженных затоплению, в том числе при городском планировании и размещении объектов промышленности и транспорта. Учитывая возрастающую повторяемость сильных паводков и половодий, данные такого рода могут быть полезными в будущем.