

**Национальный центр космических исследований и технологий
Алма-Ата, Казахстан**

Прогноз динамики развития паводков на основе анализа многолетних временных рядов радарных и оптических данных

Архипкин О.П., Сагатдинова Г.Н., Бралинова Ж.А., Занчева М.Н.

**18 Всероссийская открытая конференция «Современные проблемы
дистанционного зондирования Земли из космоса», Москва, 16-20
ноября 2020 года.**

Формирование прогнозных карт

На основе первого ряда формируется прогнозная карта последовательности зон затопления исследуемой территории от минимальной до максимальной. Это равнозначно построению последовательных потенциальных зон затопления по данным рельефа, но обладает тем преимуществом, что опирается не на математическую модель рельефа, а на реальное его отражение последовательными границами зон затопления. При этом из этого ряда можно делать соответствующую выборку для наилучшего отражения последовательности зон затопления конкретной территории, чтобы зоны не перекрывали друг друга.

На основе второго ряда формируются разнообразные прогнозные карты в картографическом и диаграммном видах. Анализ такого ряда, расположенного во временной последовательности, позволяет оценивать многолетние тенденции развития паводковой ситуации. При расположении ряда по возрастанию суммарных зон затопления получаем прогнозную динамику последовательности зон затопления от слабого паводка к сильному, которую можно отобразить при помощи картографического представления. При этом для наилучшего вида можно объединять в один класс близкие по величине суммарные зоны, например, рассматривать классы слабых, средних, сильных и очень сильных паводков.

Большие возможности для составления прогнозных карт предоставляет совместный анализ ежегодных суммарных зон затопления в картографическом виде. Особо отметим карты зон риска затопления, в которых исследуемая территория районирована по частоте затопления за весь рассматриваемый период. Есть и другие варианты составления прогнозных карт. Можно, к примеру, построить суммарную карту зон затопления за весь период наблюдения, которая включает все территории, где хотя бы раз фиксировались зоны затопления. Можно сравнивать подобные аналитические карты за разные периоды наблюдения и оценивать тенденцию их динамики. При этом также можно объединять близкие по значению величины суммарных зон затопления в один класс.

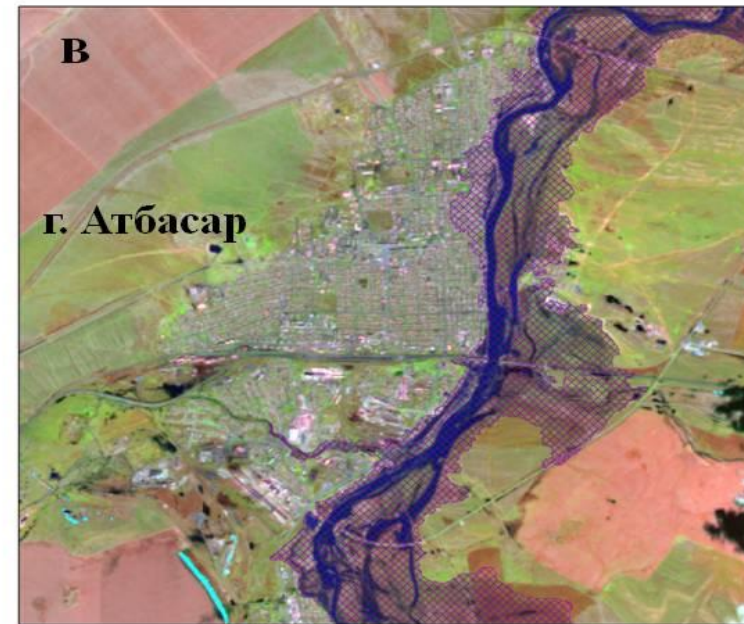
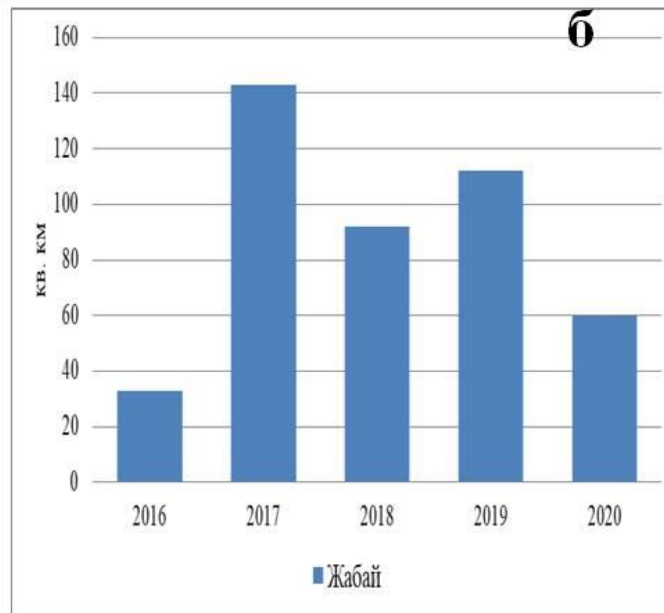
Иллюстрация возможностей методики прогноза развития паводков на примере полигона «Атбасар-Жабай»

Полигон включает в себя весь водосборный бассейн реки Жабар в Акмолинской области в районе города Атбасар. При этом весь водосборный участок охватывается одним снимком Sentinel-1 или Sentinel-2. На территории этого полигона в 2017 году наблюдалось очень сильное по местным меркам наводнение, приводившее к существенному затоплению города Атбасар и прилегающих к нему территорий, а в 2014, 2019 и 2020 годах сильные.

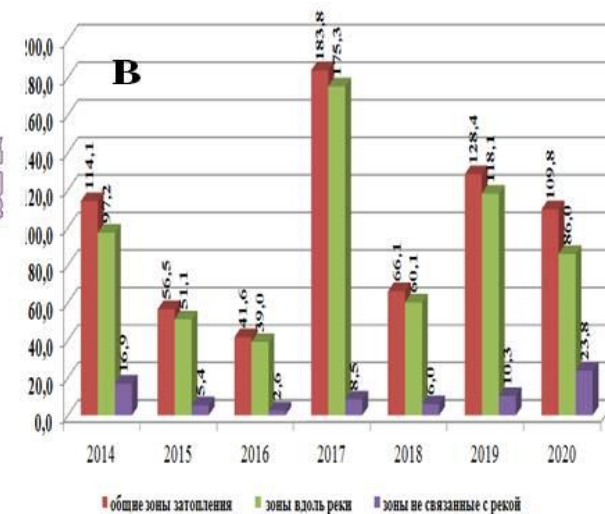
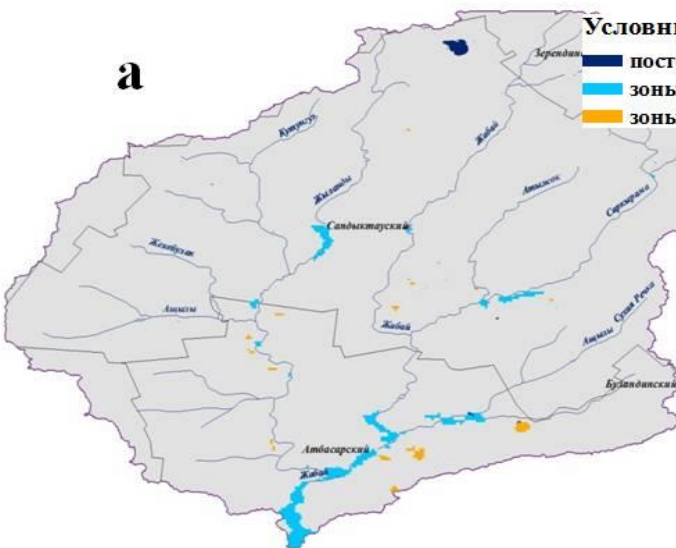
Есть два момента, характеризующих возможности покрытия снимками Sentinel-1 и 2 периода паводков на реке Жабай. Первый связан с тем, что хотя спутники среднего разрешения начали вводиться в 2014 году, но более менее стабильно они начали работать только в последние годы, да и то нередко бывают нарушения регулярности съемки. Второй момент связан с быстротечностью паводка на реке Жабай. Обычно он проходит в две три недели, и часто сопровождается облачностью. Все это плюс периодичность съемки в несколько дней привело к тому, что полноценно отследить паводок от начала до конца удалось по данным среднего разрешения только в 2019 году. Однако по данным Sentinel все же за четыре последних года удавалось захватывать период максимального или близкого к нему паводка. Это позволило получить достаточно представительную динамику сезонных суммарных зон затопления и на них проиллюстрировать возможности методики прогноза развития паводков .

Большие возможности для составления прогнозных карт предоставляет совместный анализ ежегодных суммарных зон затопления в картографическом виде. Особо отметим карты зон риска затопления, в которых исследуемая территория районирована по частоте затопления за весь рассматриваемый период. Есть и другие варианты составления прогнозных карт. Можно, к примеру, построить суммарную карту зон затопления за весь период наблюдения, которая включает все территории, где хотя бы раз фиксировались зоны затопления. Можно сравнивать подобные аналитические карты за разные периоды наблюдения и оценивать тенденцию их динамики. При этом также можно объединять близкие по значению величины суммарных зон затопления в один класс.

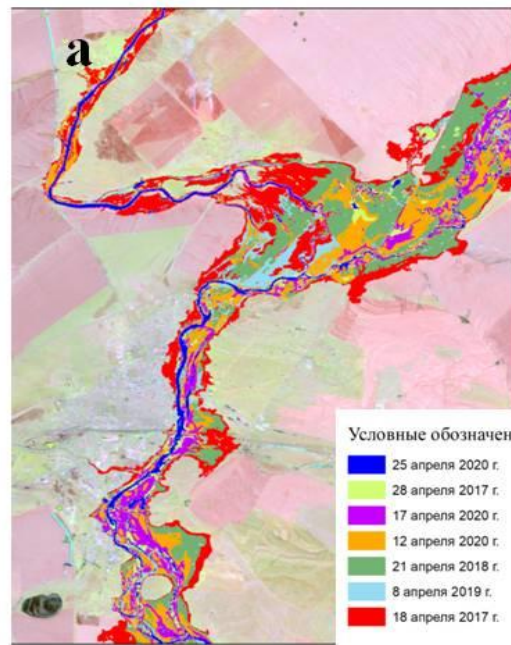
Бассейн реки Жабай по данным Sentinel-1 и Sentinel-2. Суммарные зоны затопления за 2017 год (а), их многолетняя динамика (б), зоны затопления при сильном паводке в 2017 году (в)



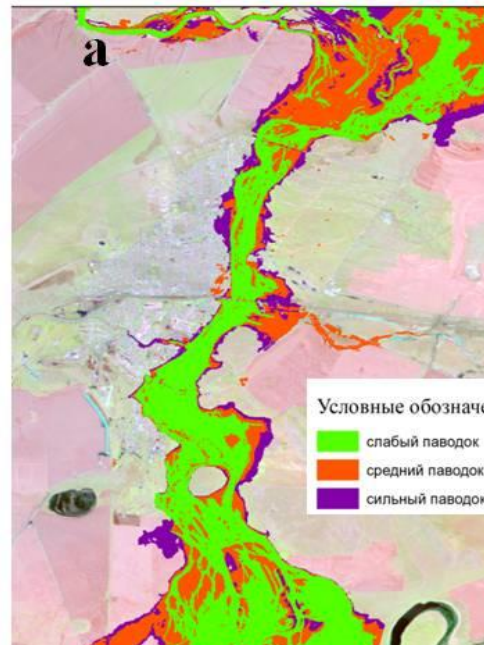
Бассейн реки Жабай по данным MODIS. Суммарные зоны затопления за 2017 год (а), общая суммарная зона затопления за 2014-2020 годы (б), их многолетняя динамика (в)



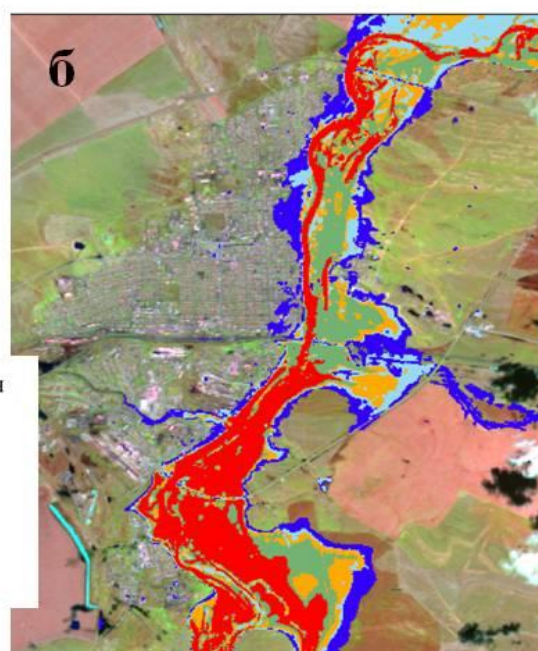
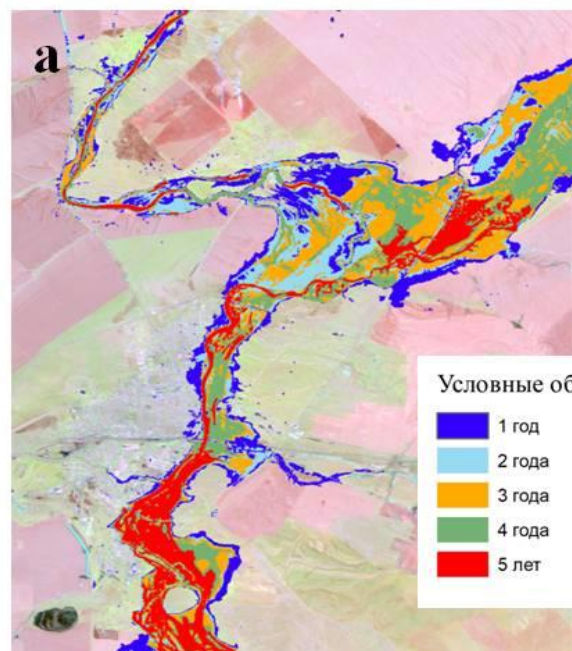
Прогнозные карты для реки Жабай в районе (а) и городе (б) Атбасар по данным Sentinel-1 и 2



Последовательности зон затопления от min до max



Последовательность суммарных зон затопления от слабого паводка к сильному



Частота зон риска затопления

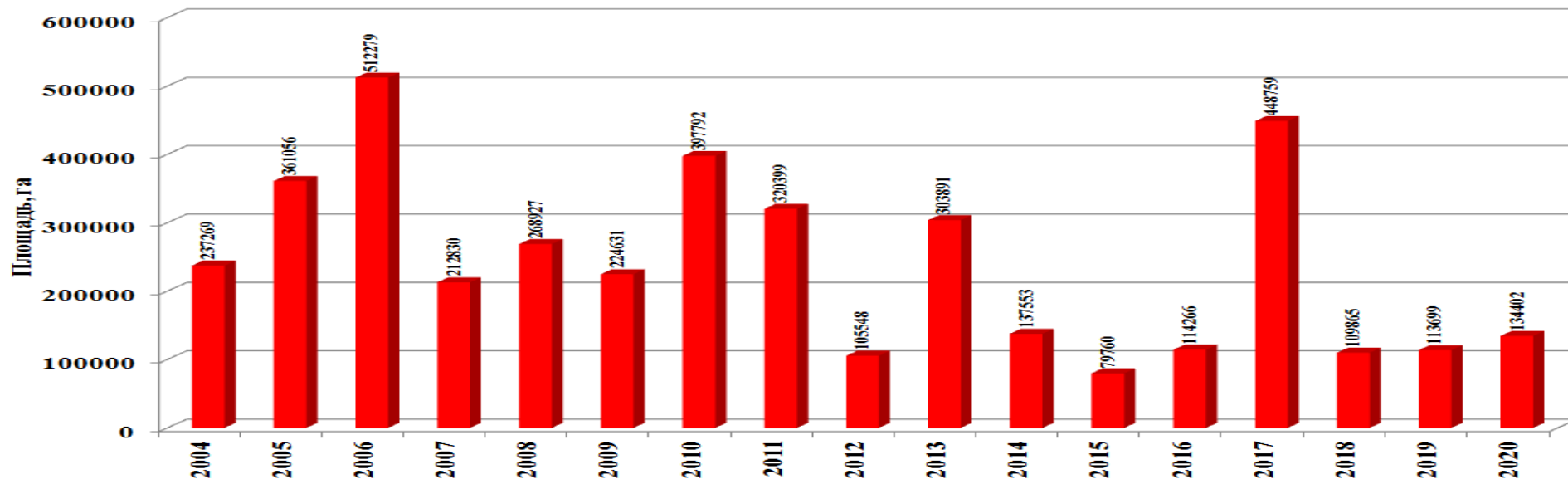
Иллюстрация возможностей методики прогноза развития паводков на примере Казахстанской части бассейна реки Сырдарья

Для для казахстанской части реки Сырдарьи прогноз развития паводков строился в основном на базе данных низкого разрешения MODIS. Это обусловлено рядом причин, в том числе тем, что на реке Сырдарья не наблюдалось существенных паводков с момента появления новых данных среднего разрешения за исключением 2017 года. Отметим, что для имеющего большое значение для хода паводка на река Сырдарья Гидрокомплекса, состоящего из Чардаринского водохранилища и Коксарайского противопаводкового контррегулятора, за последние 5 лет данных среднего разрешения было достаточно для проведения полноценного мониторинга динамики их заполнения.

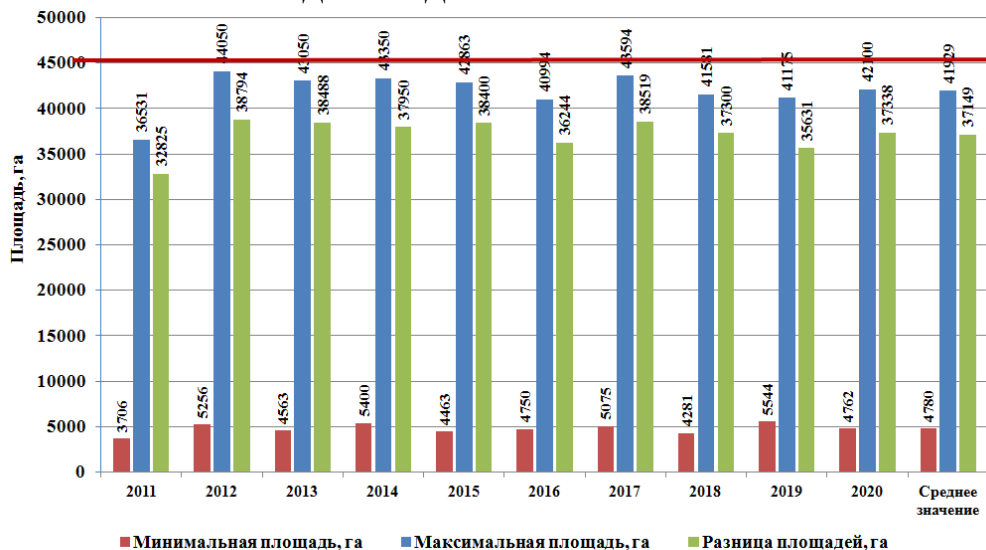
Но с другой стороны в использовании данных MODIS был и большой плюс, так как это позволило для казахстанской части реки Сырдарьи проанализировать большой временной ряд зон затопления с 2004 по 2020 годы. Кроме того, это дает возможность провести сравнительный анализ для двух временных периодов 2004-2011 годы и 2012-2020 годы, то есть периоды до ввода в промышленную эксплуатацию Коксарайского противопаводкового контррегулятора и после. Анализ динамики суммарных зон затопления показывает, что за 9 лет с 2012 по 2020 года площадь зон затопления лишь 2 раза превысила 1500 кв. км, в то время как с 2004 по 2011 годы величина зон затопления ни разу не опускалась ниже 2000 кв. км .

После ввода в промышленную эксплуатацию Коксарайского противопаводкового контррегулятора Гидрокомплекс стал работать стабильно. Особенно это касается Коксарая, у которого в период 2012-2020 года значения максимальной и минимальной площади незначительно колебались около среднего значения и имели большую величину спуска воды. Что касается Чардаринского водохранилища, то с 2013 года уровень его заполнения ни разу не превысил проектный, тогда как до этого он фактически не опускался ниже проектного (красная линия на диаграмме).

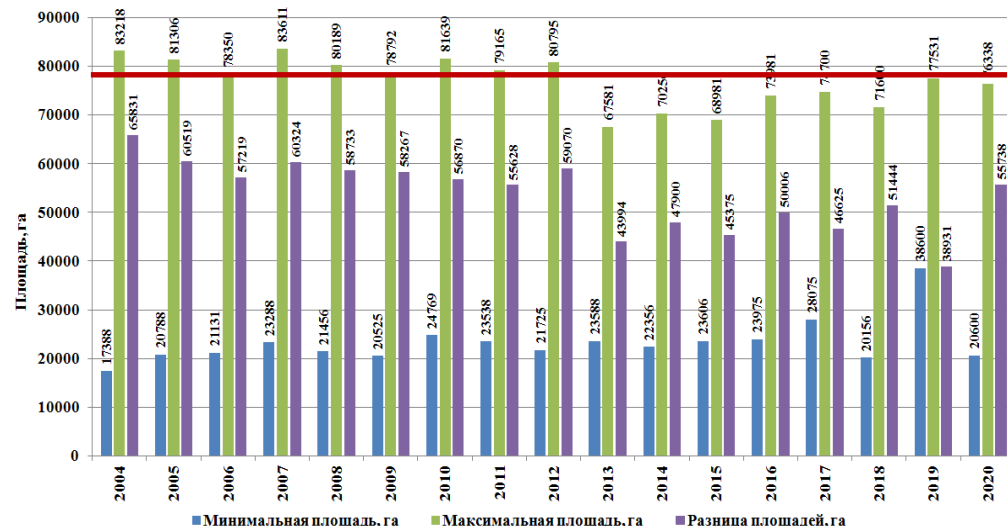
Площадь суммарных зон затоплений казахстанской части бассейна реки Сырдарья по данным MODIS за 2004-2020 годы



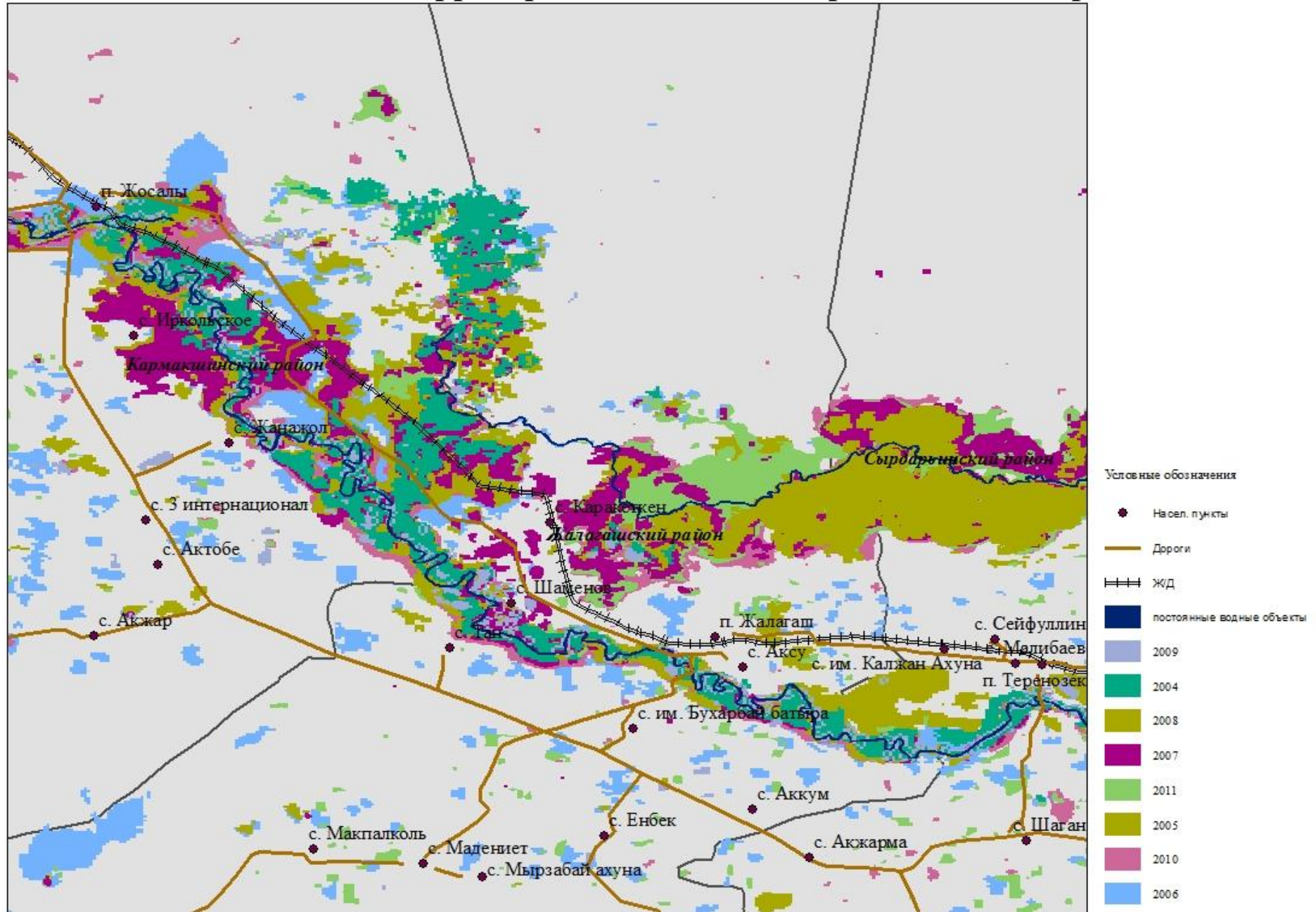
Динамика параметров площади заполнения Коксарайского контррегулятора за 2011-2020 годы по данным MODIS



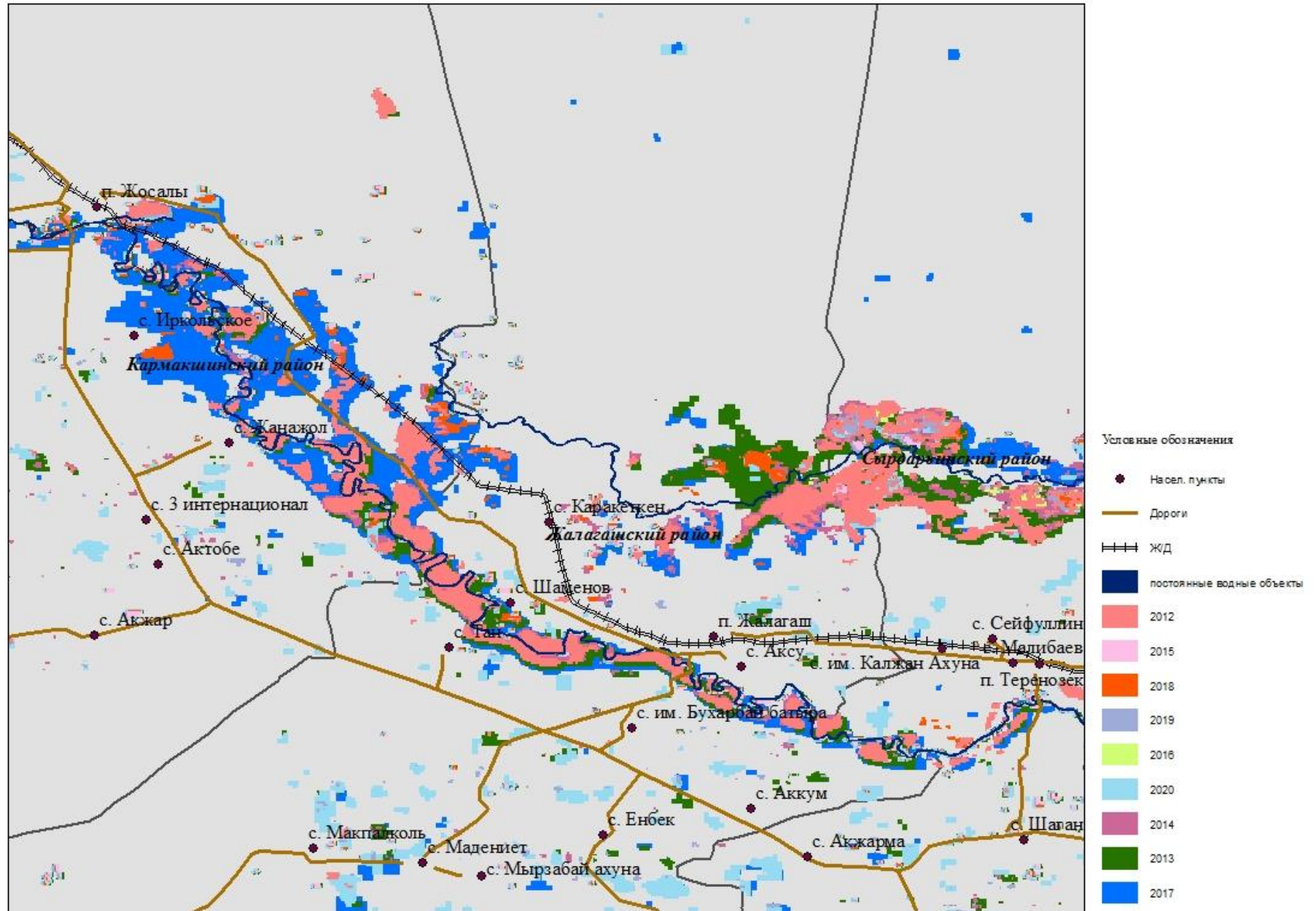
Динамика параметров площади заполнения Чардаринского водохранилища за 2004-2020 годы по данным MODIS



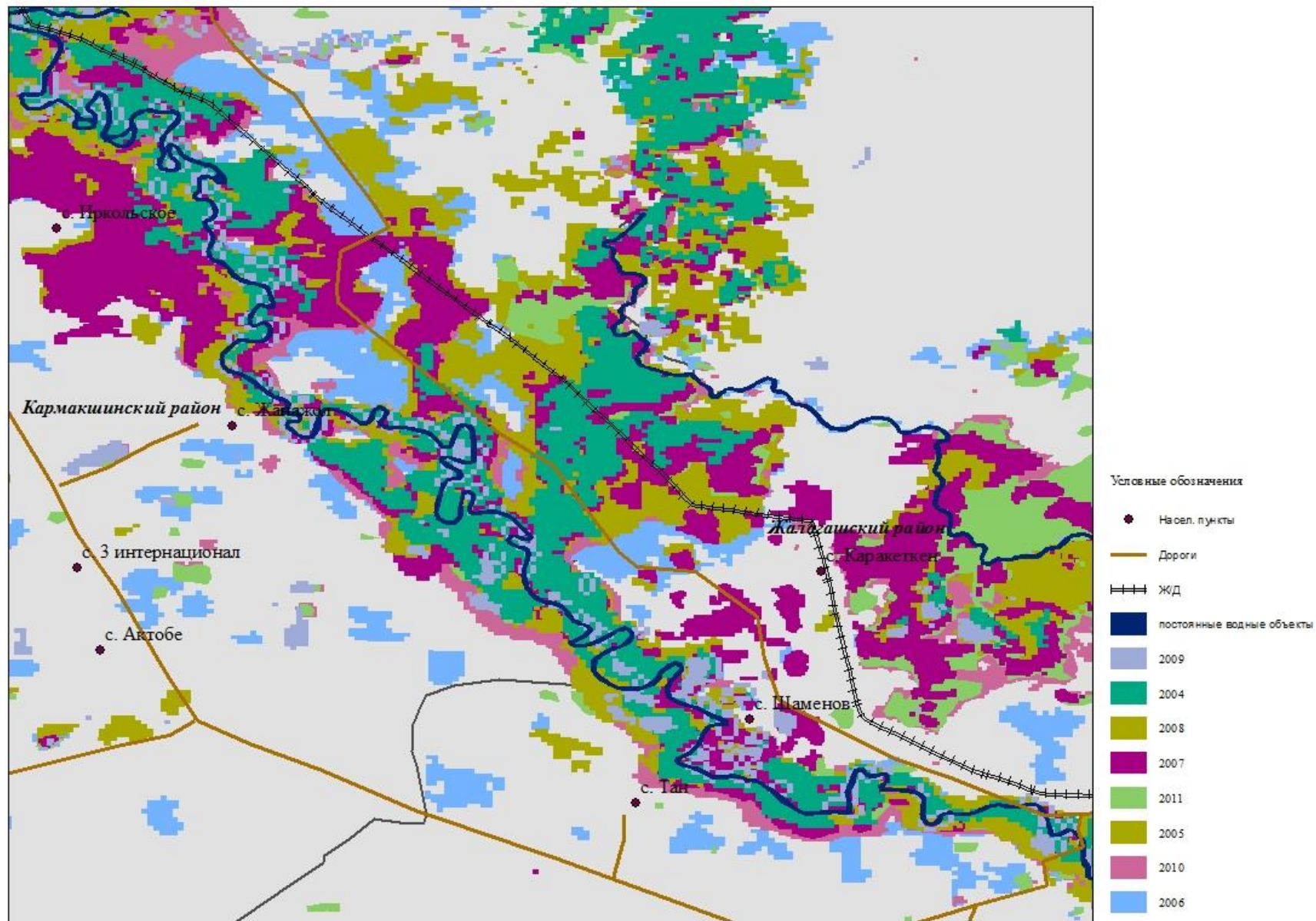
Последовательность зон затопления от слабого паводка к самому сильному в 2004-2011 годах по данным MODIS на территории Жалагашского района Кызылординской области



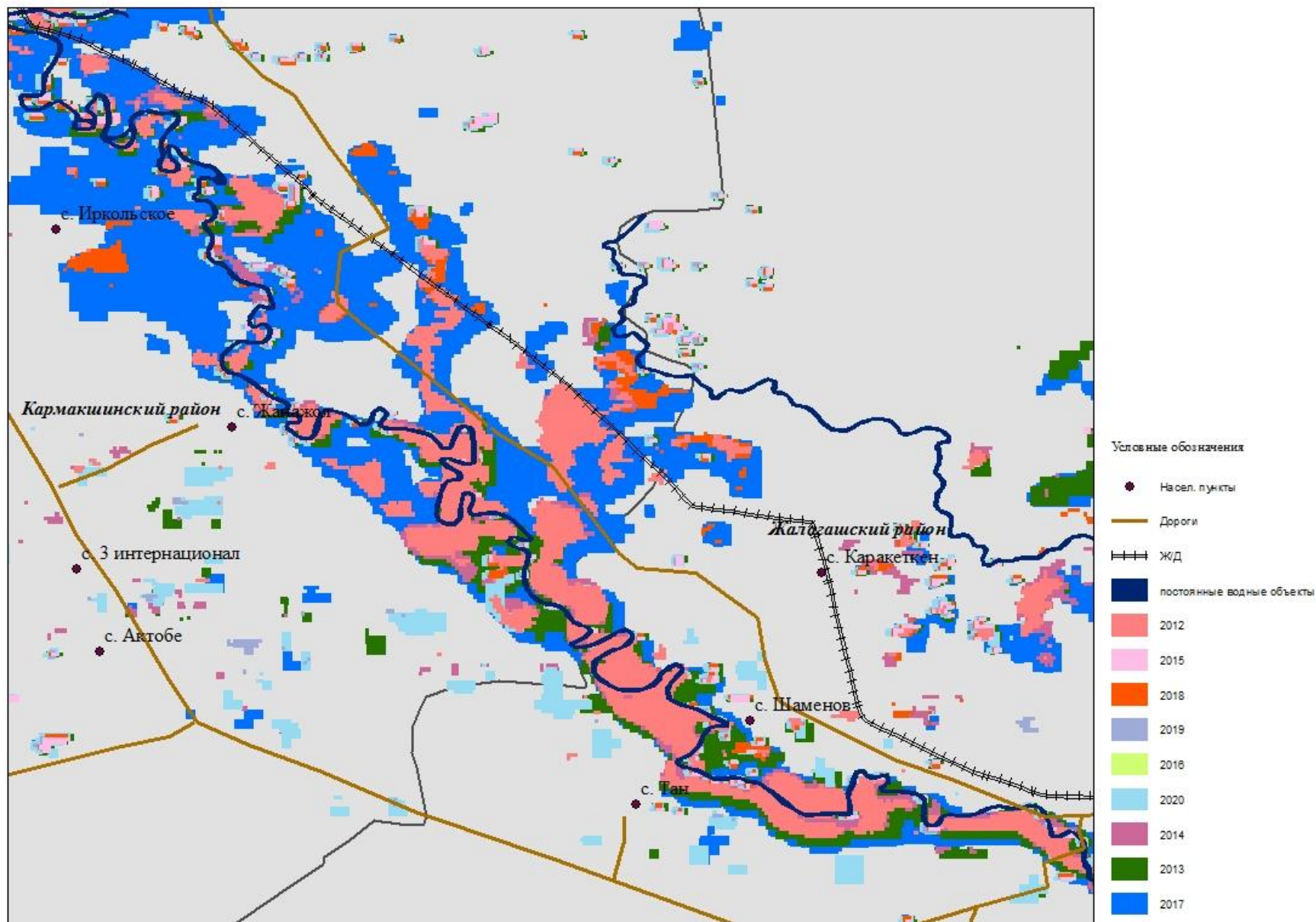
Последовательность зон затопления от слабого паводка к самому сильному в 2012-2020 годы по данным MODIS на территории Жалагашского района Кызылординской области



Последовательность зон затопления от слабого паводка к самому сильному в 2004-2011 годах по данным MODIS на территории Жалагашского района Кызылординской области (фрагмент)

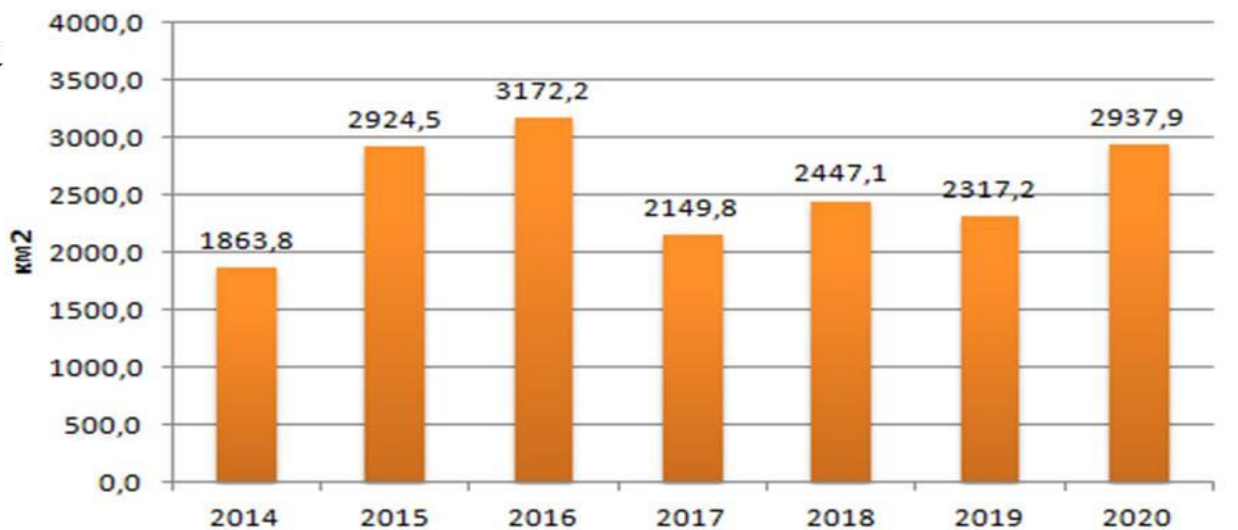


Последовательность зон затопления от слабого паводка к самому сильному в 2012-2020 годы по данным MODIS на территории Жалагашского района Кызылординской области (фрагмент)

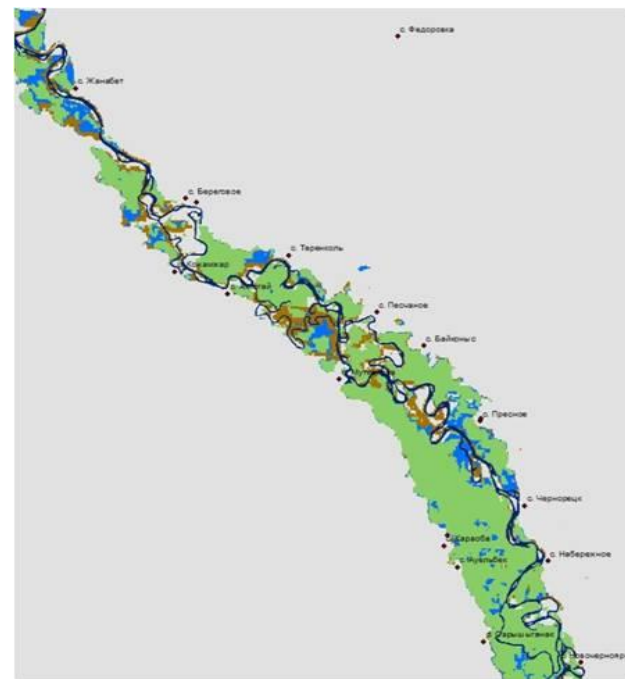


Многолетняя динамика суммарных зон затопления в казахстанской части реки Иртыш в 2014-2020 годах по данным MODIS (а) и последовательность затопления территории от слабого к сильному паводку в районе села Теренколь (б), г. Павлодар (в) и села Ямышево (г)

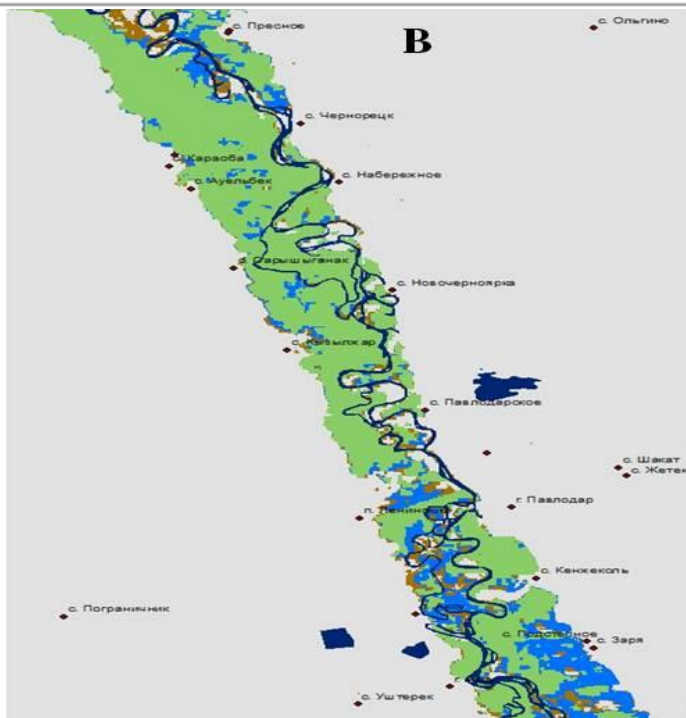
а



б



в



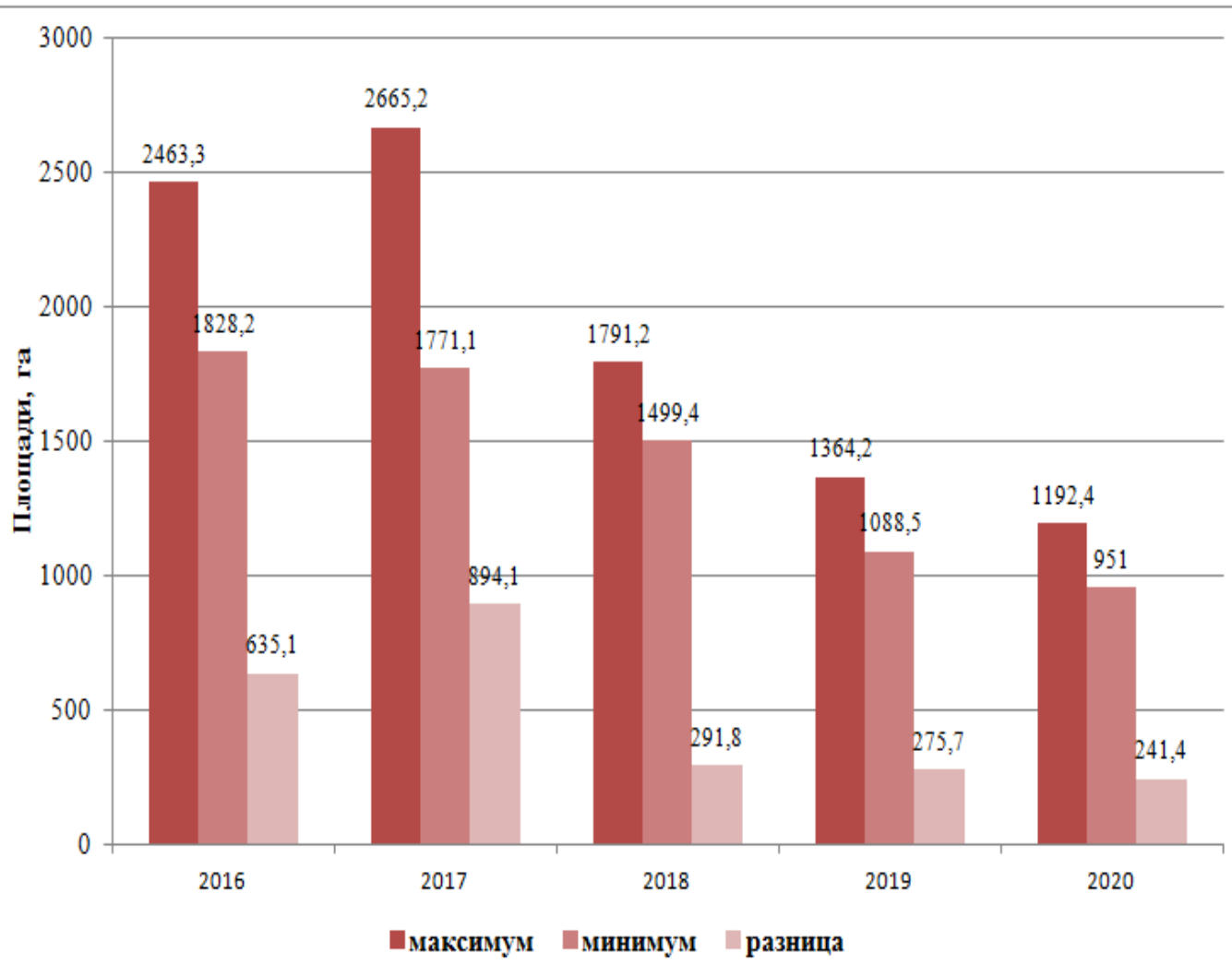
г



Условные обозначения

- Слабое 2014
- Среднее 2017
- Среднее 2019
- Среднее 2018
- Сильное 2015
- Сильное 2020
- Сильное 2016

Динамика параметров заполнения Каргалинского водохранилища (Актюбинская область) по данным Landsat-8 за 2016 – 2019 годы



В последние два года наблюдается острая нехватка воды. В результате максимум 2018 года равен минимуму 2017 года, а максимум 2019 года в свою очередь меньше минимума 2018 года. За эти два года водная поверхность сократилась практически в два раза, а спуск воды еще больше. Это привело к острой нехватке воды для нужд сельхозпредприятий. В 2020 году спад продолжился, но не резко.

Проектный объем водохранилища - 0,28км³,
проектная площадь акватории – 28,5км² (2850га) . По данным ДЗЗ абсолютная максимальная площадь равна 2665,2га