

Оценка состояния естественной растительности Прикаспийского региона в зависимости от погодных и ландшафтных особенностей

Н.Р. Муратова¹, С. Северская¹, А.Г. Терехов¹, Н.Т. Аманова², Н. Цычуева¹

¹*Институт космических исследований МОН РК
050010 Казахстан, Алматы, ул. Шевченко, 15
E-mail: nmuratova@mail.kz*

²*ТОО Тенгизшевройл
465050 Казахстан, Атырау, ул. Сампаева, 3
E-mail: nuam@tengizchevroil.com*

В статье рассмотрен вопрос оценки состояния растительного покрова Прикаспийского региона по данным космической съемки в зависимости от ландшафтных и погодных особенностей. Предварительно составлена ландшафтная карта северо-восточного Прикаспия. Проведен анализ индекса NDVI в течение вегетационных сезонов 2002-2004 гг. Сравнительный анализ данных NDVI-2003 и NDVI-2004 годов с NDVI-2002 года показал, что температурный режим начала вегетационного периода и нагонные явления с Каспийского моря являются главными факторами, влияющими на динамику растительного покрова.

Введение

Экологические системы Казахстана характеризуются малой устойчивостью к антропогенным воздействиям и подвержены повышенному риску экологической дестабилизации. Растительный покров естественных экосистем служит основным индикатором экологической стабильности, поэтому изучение состояния растительного покрова представляет большой интерес особенно в местах с высокой антропогенной нагрузкой. В рамках работ по контракту с ТОО Тенгизшевройл (ОК 42623) проведен комплекс работ по оценке состояния растительного покрова для территории северо-восточного Прикаспия на основе современных данных дистанционного зондирования и имеющейся метеорологической и картографической информации с учетом природно-климатических факторов. Для оценки состояния растительного покрова использовался вегетационный индекс NDVI. Анализ индекса растительности проводился по данным TERRA/MODIS в течение вегетационных периодов 2002-2004 NDVI для Прикаспийского региона в целом, по ландшафтам и по их отдельным территориальным компонентам. По итогам исследований разработана схема оценки пространственной конфигурации зон влияния промышленных объектов на растительный покров на небольших участках с высокой степенью техногенного влияния.

Естественные ландшафты северо-восточного Прикаспия

По совокупности биоклиматических показателей ландшафты северо-восточной части Прикаспийского региона относятся к пустынному типу, подтипу северных пустынь. На первом этапе работ на основе космических снимков создана ландшафтная карта Казахстанской части Прикаспия масштаба 1:1000000. К работе привлечена также имеющаяся картографическая информация. Классы ландшафтов выделены по морфотектоническим категориям на горный и равнинный, и подразделены на подклассы в соответствии с ярусной дифференциацией ландшафтной структуры. Это подкласс низкогорных ландшафтов гор Каратау и Актау на Мангышлаке. При разделении равнинных ландшафтов на возвышенные (плато Мангышлак, Кендерли и Устюрт) и низменные (Прикаспийская низменность) учтены не только формальные гипсометрические показатели, а также возраст их литогенной основы и история развития ландшафтов в целом. Однородность территории по морфотектоническим, геоморфологическим признакам, а также

единство растительного покрова в ранге групп ассоциаций и сопряженных с ними почв послужила критерием выделения 18 видов ландшафтов, описание к которым дано в легенде к рисунку 1.

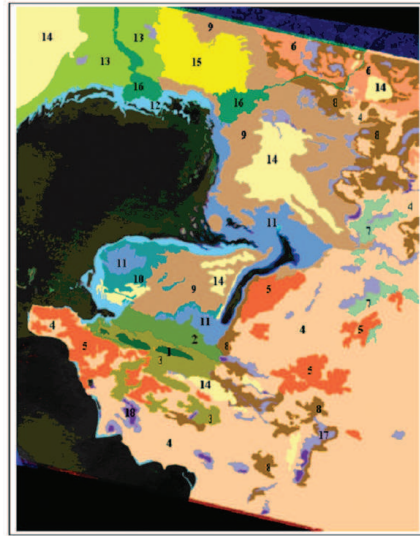


Рис. 1. Ландшафтная карта Казахстанской части Прикаспия

Легенда к карте «Ландшафты Казахстанской части Прикаспия»

*Горные ландшафты
Ландшафты аридных низкогорий*

1. Пустынные низкогорья куэстово-грядовые, куэстово-холмистые с крупными межгрядовыми понижениями и западинами, густой сетью линейнообразных долин и временных водотоков, сложенные делювиально-элювиальными отложениями с полынно-солянковыми (боялыч и кейреук) пустынями на бурых малоразвитых каменисто-суглинистых почвах.

2. Повышенные гряды типа куэст с пологими северными и крутыми эродированными южными склонами (типа бедленд), сложенные элювиально-делювиальными отложениями с полынно-солянковой (биюргун, кейреук) растительностью на бурых малоразвитых солонцеватых суглинистых почвах.

3. Предгорные полого-волнистые равнины с выходами коренных пород, рассеченные котловинами, сложенные делювиально-пролювиальными отложениями, с тасбиюргуново-эфемеровой растительностью на бурых малоразвитых солонцевато-суглинистых почвах.

*Равнинные ландшафты
Пустынные денудационно-структурные равнины*

4. Плато плоские, слабонаклонные, с сетью сухих долин и долинообразных понижений, с невысокими структурными уступами, сложенные элювиально-делювиальными отложениями, с разреженной полынно-солянковой и кейреуково-эфемеровой растительностью на бурых солонцеватых суглинистых почвах, с такырами и солончаками, лишенными растительности.

5. То же, с эфемеровой растительностью на бурых супесчаных и легкосуглинистых почвах.

6. То же, с полынно-злаковой растительностью на светлокаштановых супесчаных и легкосуглинистых почвах.

7. То же, с зарослями черносакульников на бурых супесчаных почвах.

8. Склоны плато-«чинки» - крутые, с резко врезанными промоинами, ступенчатые, с оползнями, лишенные растительности или с разреженной полынно-солянковой растительностью на малоразвитых бурых солонцеватых почвах.

Пустынные морские аккумулятивно-денудационные равнины

9. Древние морские равнины плоские и пологоволнистые, со столовыми останцами, солончаковыми западинами, участками перевеваемых песков, с полынными и солянковыми пустынями на бурых супесчаных и суглинистых солончаковатых почвах и галофитно- злаковой растительностью на песках.

10. Плоские днища сорово-дефляционных и древнеозерных впадин, с солянковой растительностью пустынь, массивами солончаков (соров), практически лишенных растительности.

11. Равнины плоские (низкие морские террасы), с лагунами, озерами и заливами, с береговыми валами, островами и песчаными косами, с массивами перевеваемых песков и солянковыми пустынями на маршевых солончаках.

12. Равнины плоские, с береговыми валами и косами, с редкими дюнами, лагунами, участками болот, с эфемерными сообществами, зарослями тростника, галофитно-луговыми и солянковыми сообществами на луговых солонцеватых и солончаковатых почвах.

13. Равнины плоские, волнистые, с многочисленными сухими руслами, с небольшими солеными озерами и западинами, солончаками, участками незакрепленных песков, со злаково-полынной, луговой и солянковой растительностью на серо-бурых супесчаных солонцеватых и солончаковатых почвах.

Ландшафты эоловых аккумулятивных равнин

14. Равнины бугристые, грядовые, реже барханные, с дефляционными и солончаковыми котловинами, с разреженной полынно-эфемеровой и полынно-злаковой растительностью на песках и галофитными лугами по понижениям.

15. Равнины бугристые, грядово-ячеистые с мелкими дефляционными котловинами с полынными и кустарничковыми пустынями на песках и с солянковой растительностью и солончаками по понижениям.

Ландшафты аллювиально-аккумулятивных равнин

16. Равнины плоские, волнистые, с сухими ложбинами и руслами, с каналами и арыками, с полынно-солянковой растительностью, тростником и чием в прирусловых частях и древесно-кустарниковыми зарослями по долинам рек.

Ландшафты солончаковых аккумулятивно-дефляционных котловин

17. Плоские днища бессточных впадин с массивами солончаков, практически лишенные растительности, либо с солянковой растительностью в краевых частях.

18. Сорово-дефляционные котловины с корковыми солончаками, лишенные растительности.

Анализ NDVI в течение вегетационного сезона

Вегетационный период 2002 года выбран в качестве базового для изучения вариабельности NDVI и определения территорий с относительно низкой (незначительная зеленая растительная биомасса) и высокой ее вариабельностью в течение года. Предполагалось, что минимальный уровень вегетации

существует в феврале, поэтому все относительные расчеты велись по данным этого месяца. Рисунок 2 показывает результаты сравнительного анализа изменений месячных максимумов индекса NDVI с апреля по сентябрь 2003 года. Расчеты показали, что максимальная вариабельность наблюдается почти по всей территории в апреле и мае, а в летние месяцы только в дельтах рек Урала и Эмбы и на плато Устюрт. Практически не наблюдаются изменений индекса на плато Мангышлак и полуострове Бузачи.

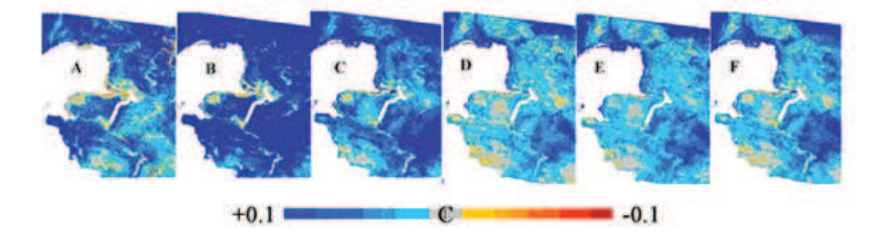


Рис. 2. Вариабельность месячных максимумов NDVI (А – апрель, В – май, С – июнь, D – июль, Е – август, F – сентябрь) при сравнении с февральским максимумом NDVI

Сравнительный анализ NDVI-2003 и NDVI-2004 с NDVI-2002

Анализ спутниковых данных показал, что динамику вегетации можно разбить условно на три типа: с весенним, весенне-летним и летним максимумами. Весенний максимум типичен для сухих территорий, когда недостаток увлажнения вынуждает растительность максимально эффективно использовать накопленную за зиму влагу. В весенний период эфемерная растительность бурно развивается в течение 2-3-х недель. Летний максимум характерен для разнотравья, прибрежной и солончаковой растительности, когда летней влаги достаточно для ее развития. Третий тип динамики является переходным между этими состояниями. Результат классификации всей территории в вегетационных сезонах 2002 - 2004 гг. по трем перечисленным выше типам динамики вегетации представлен на рисунке 3.

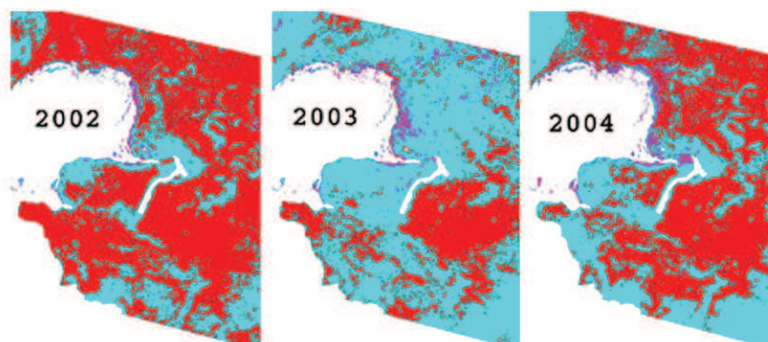


Рис. 3. Классификация территории Прикаспийского региона по трем основным типам динамики вегетации в сезонах 2002 - 2004 гг: Красный - вегетация с весенним максимумом NDVI; Голубой - вегетация с весенне-летним максимумом NDVI; Фиолетовый - вегетация с летним максимумом NDVI

Основные типы динамики вегетации на анализируемой территории - первый, с весенним максимумом, и второй, с сопоставимыми значениями весеннего и летнего максимума NDVI. Третий тип динамики, с выраженным летним максимумом, фиксируется на небольшой части территории и в целом не играет заметной роли. Обычно он приурочен либо к побережью Каспийского моря (тростники), либо к источникам пресной воды (долины рек, родники).

Большие различия в площади распространения вегетационной динамики с ярко выраженным весенним максимумом в сезонах 2002, 2003 и 2004 гг. обусловлены различными факторами. Это, прежде всего, погодные особенности начала вегетационного периода, и более локальный, влияющий только на наиболее низкие части Прикаспийских равнин с абсолютной высотой ниже уровня моря, - это нагонные явления с Каспийского моря. Они наблюдались особенно активными весной и в начале лета 2003 года (рис. 4, 5). На рисунке 4 представлены 55 конфигураций передней части береговой линии, построенных на основе данных EOS MODIS в период февраля-октября 2002 года.

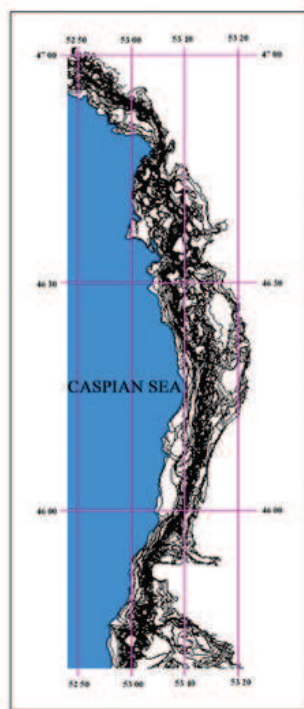


Рис. 4. Динамика границ передней береговой линии восточного побережья северной части Каспийского моря в период февраль-октябрь 2002 года

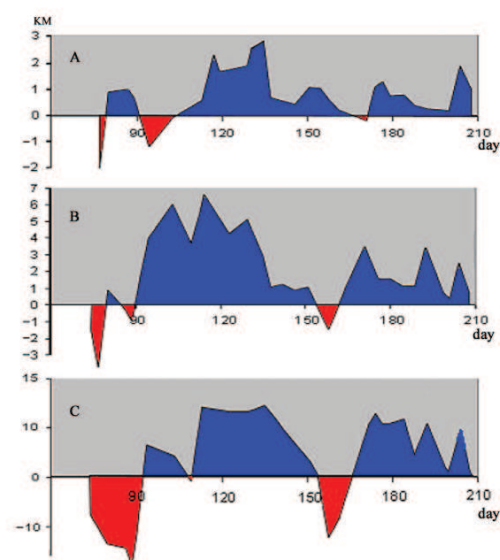


Рис. 5. Сравнительная динамика (март-сентябрь) береговой линии Каспийского моря в 2003 году по трем профилям (А - широта 46°37'; В - 46°20'; С - 46°06'). За 0 км принято согласованное по календарной дате состояние 2002 года. Синий цвет – нагонные явления активнее в 2003 году, красный – в 2002. Построено по ежедневным данным EOS/MODIS 2002-2003 гг.

Анализ состояния растительности в 2003 и 2004 годах в сравнении с 2002 годом выполнен на основе месячных максимумов NDVI (рис. 6). Полученное пространственное распределение динамик NDVI связано с метеорологическими условиями. На рисунках 7 и 8 приведены данные о количестве выпавших осадков в течение месяца и среднемесячных температурах за период с января по октябрь. Сравнение с нормами по 9 метеорологическим станциям в регионе показало, что 2004 год, как и 2002, отличался от 2003 повышенным температурным фоном в феврале и марте (выше среднемесячной нормы на 8-9 градусов). А вегетационный период 2004 года отличался более сухими условиями относительно 2002 и 2003 года. С января по июнь месяцы среднемесячное количество осадков было ниже многолетних норм. Все эти факторы сказались на слабом развитии эфемерной растительности в 2004 году и соответственно ее зеленой биомассе. Наибольшие значения вегетационного индекса наблюдались в апреле месяце. Однако по абсолютной величине они значительно ниже майского пика 2002 года, поскольку количество выпавших осадков в апреле 2004 года значительно ниже многолетней нормы. Наибольшие различия в динамике вегетации отмечаются в прибрежной зоне северного Каспия, на песчаных массивах плато Устюрт и Мангышлак, на полуострове Тюбкараган.

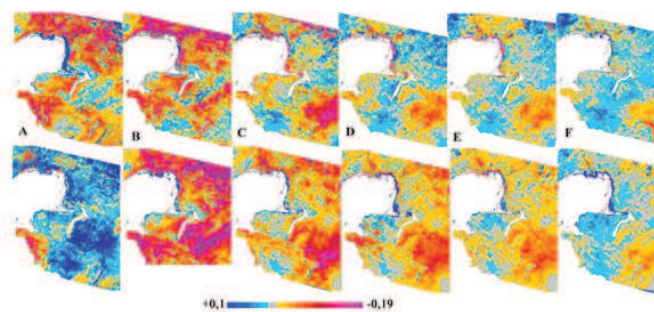


Рис. 6. Разница между месячными максимумами NDVI 2003-2002 (верхний ряд) и 2004-2002 (нижний ряд) А – апрель; В – май; С – июнь

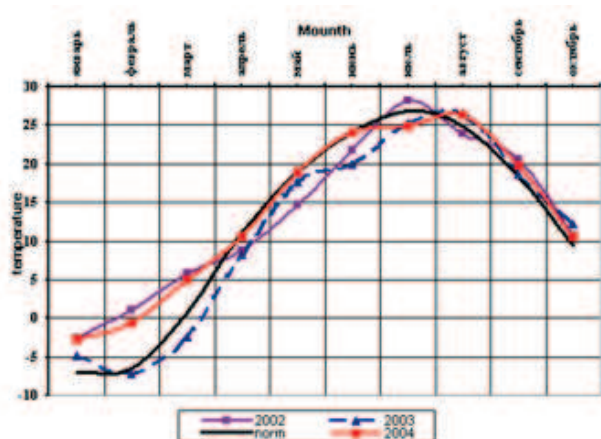


Рис. 7. Средняя месячная температура воздуха, °С

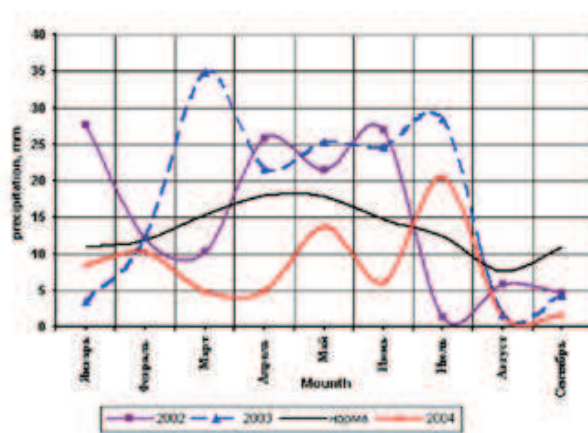


Рис. 8. Средняя месячная сумма осадков, мм

Анализ динамики NDVI для ландшафтов

На этапе подготовки ландшафтной карты в регионе было выделено 18 видов ландшафтов. Поскольку оказалось, что некоторые ландшафтные структуры простираются на большие расстояния и их отдельные части находятся в различных условиях и соответственно имеют другие картины динамики вегетации, дополнительно ландшафты были разделены на территориальные компоненты. Территориальные компоненты внутри ландшафтов выделены с помощью автоматической классификации индексов NDVI. Алгоритм RGB-кластеризации применен для композиционного мультивременного снимка, собранного по данным 2-ого канала TERRA/MODIS с различных сезонов (весна – май, лето – июль, осень – сентябрь). Результаты классификации индексов NDVI показаны на рисунке 9.

Анализ состояния растительности внутри ландшафтов и их территориальных компонент показал значительную вариабельность динамик NDVI. Спектральные образы отдельных ландшафтов приведены на рисунке 10.

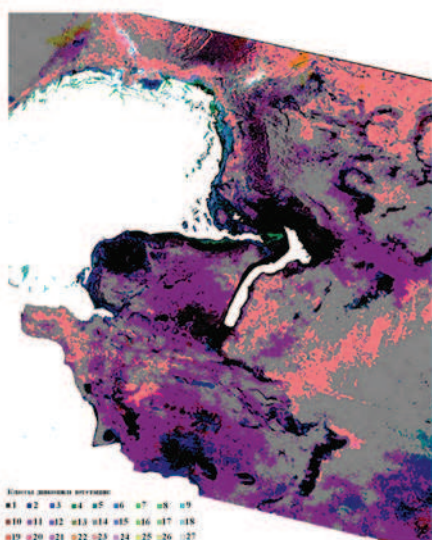


Рис. 9. Территориальное деление Прикаспийской низменности на 27 классов различных по динамике вегетации, выделенных на основе данных NDVI

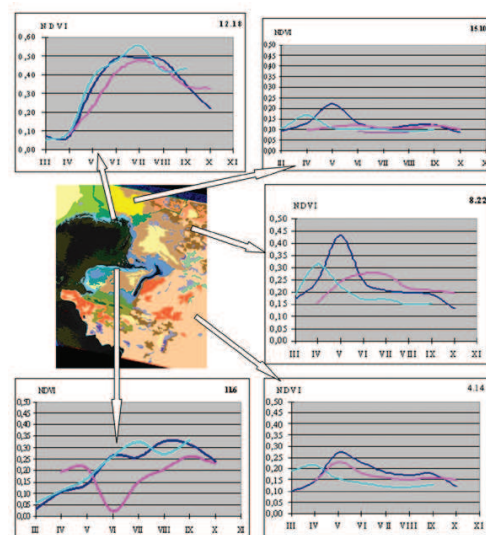


Рис. 10. Значения NDVI в 2002 (синий), 2003 (красный) и 2004 (голубой) для ландшафтов № 4, 8, 11, 12, 15 и территориальных компонент 14, 22, 6, 18, 10

Оценка техногенного влияния на растительный покров

При оценке техногенного влияния на растительный покров Прикаспийской низменности с помощью данных дистанционного зондирования встречаются определенные трудности. Влияние погодной компоненты на состояние растительности велико. Температурный режим, интенсивность нагонных явлений, количество осадков являются наиболее значимыми факторами, формирующими состояние растительности на больших территориях. Поэтому детальный анализ локальных территорий может быть более продуктивным. На ограниченных площадях промышленные объекты являются наиболее значимым фактором, определяющим состояние вегетации. Это создает принципиальную возможность оценивать пространственные конфигурации зон влияния промышленных объектов и их изменения во времени на небольших участках с высокой степенью техногенного влияния на растительный покров.

В данной работе принципы анализа степени техногенного влияния основывались на ландшафтном подходе. Предполагалось, что одинаковые ландшафты на близких территориях должны иметь сходное состояние растительности. Фактически наблюдаемые отличия в состоянии вегетации между одинаковыми, близко расположенными ландшафтами, на одном из которых находится промышленный объект, связаны с техногенным влиянием. Схема анализа состояла из следующих этапов:

- локализация промышленных объектов с помощью спутниковой съемки высокого разрешения;
- выделение границ природных ландшафтов, в том числе на территориях, где расположены промышленные объекты;
- выбор территориально близких однотипных ландшафтов со слабым уровнем техногенного влияния. Эти ландшафты в дальнейшем используются в качестве эталонных;
- реконструкция потенциального состояния растительности на территориях промышленных объектов с использованием данных о текущем состоянии растительности на эталонных ландшафтах и предположении отсутствия техногенного влияния;
- расчет и анализ разницы между двумя состояниями растительности – фактически наблюдаемым и реконструированным.

Для каждого года (2002, 2003, 2004) из архива ежедневного мониторинга были накоплены годовые максимумы значений NDVI в период апрель-сентябрь. Для анализа использовались три матрицы накопленных годовых максимумов за 2002, 2003 и 2004 года. В качестве локальной территории был выбран прибрежный участок Прикаспийской низменности размером 12х25 км. Выбор территории определялся наличием спутниковой съемки высокого разрешения IRS-LISS (23 м) (рис. 11), достаточной для дешифровки различных промышленных объектов и коммуникационных систем. Рисунок 12 иллюстрирует основные стадии анализа.



Рис. 11. Космоснимок IRS-LISS (23 м) прибрежного участка Прикаспийской низменности

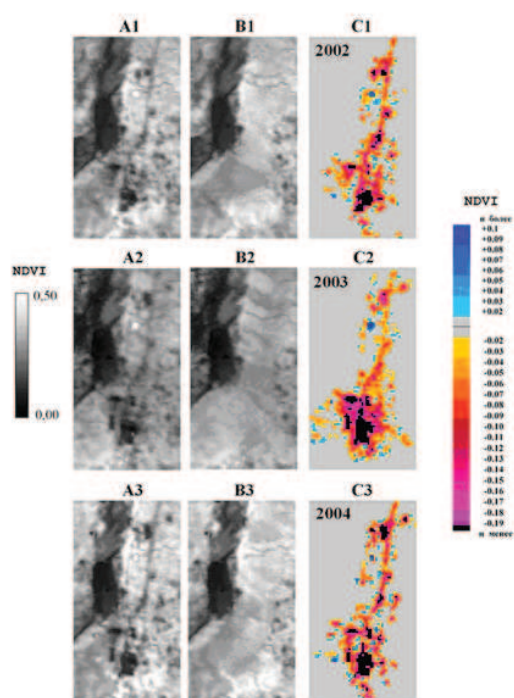


Рис. 12. Иллюстрации к схеме оценки техногенного влияния на растительный покров анализируемой территории в период 2002-2004 гг. А – накопленные за вегетационный сезон максимумы значений NDVI. В - реконструированные сезонные максимумы NDVI в предположении отсутствия промышленных объектов. С - выделенное техногенное влияние на растительный покров (разница NDVI)

Заключение

По результатам проведенных исследований отмечается, что в 2002 – 2004 годах наблюдалась высокая годовая изменчивость сезонной динамики индексов NDVI. Наибольшая изменчивость отмечается в развитии эфемерной растительности.

Анализ различных факторов, оказывающих влияние на состояние растительности, показал, что наиболее значимыми среди них являются метеорологические условия. Вариации погодных условий и увлажнение за счет нагонных явлений со стороны Каспийского моря могут кардинально изменять режимы вегетации. Межгодовые различия в динамике NDVI в основном определяются следующими факторами: температурными условиями с февраля по апрель, количеством осадков и наличием нагонных явлений. В результате анализа связи между динамиками вегетации и относительной высотой территории выявлено, что режимы вегетации возвышенных мест (плато Мангышлак и Устьюрт) более стабильны.