

# К возможностям выявления сукцессионных изменений антропогенно преобразованных экосистем на основе комплексного использования данных ДЗЗ и наземного обследования

Л.М. Кавеленова<sup>а</sup>, Н.В. Прохорова<sup>а</sup>, Е.С. Корчиков<sup>а</sup>, А.Ю. Денисова<sup>а</sup>, Д.А. Терентьева<sup>а</sup>

<sup>а</sup> Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева, 443086, Московское шоссе, 34, Самара, Россия

---

## Аннотация

Районы Самарской области характеризуются специфическим сочетанием особенностей орографического строения, гидрологического режима, почвенного и растительного покрова, что сочетается с высоким уровнем антропогенной нагрузки. Выявление негативных изменений, связанных с режимом антропогенной эксплуатации (эрозия почв, засоление и заболачивание как следствие орошения) и ее прекращением (превращение невозделываемых полей в залежи, зарастание выведенных из эксплуатации карьеров), представляет трудоемкую задачу при проведении наземных исследований, связанных с масштабной оценкой состояния земельных ресурсов области. Использование в этих целях материалов дистанционного зондирования, представленных временными сериями снимков для одной и той же территории, открывает широкие возможности при условии выполнения регионального наземного эталонирования.

*Ключевые слова:* антропогенная эксплуатация экосистем; зарастание залежей и карьеров; наземное обследование экосистем; данные дистанционного зондирования

---

## 1. Введение

Самарская область характеризуется сложным сочетанием особенностей орографии, гидрологии, почвенного и растительного покрова, что сочетается с высоким уровнем антропогенной нагрузки. При приближающейся к 77% доле земель сельскохозяйственного назначения по области в целом для отдельных административных районов она превышает 90% (Алексеевский, Большечерниговский, Большеглушицкий, Красноармейский, Пестравский районы, в которых доля пашни более 70%) и имеет минимальные показатели в Сызранском, Шигонском, Ставропольском районах, где землям сельскохозяйственного назначения и пашне принадлежат более 50 и 40% [1]. Результатом распашки стала потеря большей части степных угодий, участки которых смогли сохраниться в непригодных для пахоты неудобьях (степные яры, крутые склоны холмов) [2, 3]. Зачастую эти компоненты ландшафта характеризуются высокой степенью эрозионной опасности. На территории области наблюдается тенденция усиления процессов переувлажнения и заболачивания почв, особенно расположенных в зоне влияния Куйбышевского и Саратовского водохранилищ и таких крупных оросительных систем, как Кутулукская, Ветлянская, Спасская. Общая площадь переувлажненных сельскохозяйственных угодий составляет 127,1 тыс. га или 3,3%, из них внепойменных, переувлажнение которых обусловлено в основном антропогенным воздействием – 70,5 тыс. га, в том числе пашни 53,4 тыс. га [4]. Заболоченные сельскохозяйственные угодья, преимущественно кормовые угодья, занимают 25,7 тыс. га или 0,7%, из них 0,4% заболочены в средней степени.

В последние десятилетия в области прослеживалось формирование залежей (не обрабатываемых длительный период участков пашни). На залежах происходят последовательные изменения растительного покрова: в первые 2–3 года простая пашня зарастает одно- и двулетними растениями, в последующие 5–7 лет на ней господствуют корневищные растения, в дальнейшем развивается растительность, характерная для степных условий. Далее неиспользуемая пашня в лесостепной зоне зарастает кустарниками и деревьями. Брошенные земли – источник распространения сорняков на действующую пашню [5]. Площадь заросших кустарником и мелколесьем сельскохозяйственных угодий в 2015 г. в Самарской области составляла 18,7 тыс. га. Общая площадь сельскохозяйственных угодий с засоленными почвами составляет 110,1 тыс. га или 2,9%, в том числе пашни – 57,1 тыс. га или 1,9%. По степени засоления почвенного профиля легкорастворимыми солями, превышающими пороги токсичности, преобладают слабозасоленные земли. В результате несоблюдения режима орошения, отсутствия дренажа в условиях близкого залегания засоленных грунтовых вод выявлено 11,2 тыс. га вторично засоленных пахотных земель [4, 6]. Сельскохозяйственные угодья с солонцеватыми почвами и солонцами выявлены на площади 156,1 тыс. га, что составляет 4,1%, в том числе пашня – 65,0 тыс. га или 2,2%.

Выявление негативных изменений, связанных с антропогенной эксплуатацией (эрозия почв, засоление и заболачивание как следствие орошения) и ее прекращением (превращение невозделываемых полей в залежи, зарастание выведенных из эксплуатации карьеров) представляет трудоемкую задачу при проведении наземных исследований, связанных с масштабной оценкой состояния земельных ресурсов области. Проведение комплексных наземных обследований экосистем, обеспечивающее получение первичных данных для последующей обработки материалов дистанционного зондирования, представленных временными сериями снимков для одной и той же

территории, открывает широкие возможности осуществления мониторинга территории в целях решения широкого круга прикладных задач.

Специализированные спутниковые съемки ресурсного назначения (Terra, Aqua, Landsat и др.) позволяют получать информацию за определенный период времени и с определенным пространственным разрешением. Для проведения ретроспективного мониторинга необходимо произвести подбор и каталогизацию спутниковых данных, а также их обработку с формированием спектральных индексов, отражающих состояние различных компонентов природной среды. Скорректированные таким образом методики оценки рекреационных ресурсов позволяют исследовать и выделить наиболее угрожаемые территории, где происходит интенсификация неблагоприятных природных процессов, ландшафты, подвергающиеся деструкции, области сокращения фито- и биоразнообразия, а также территории повышенной техногенной и антропогенной нагрузки [7]. Практика использования временных серий снимков для анализа изменений в нашей стране уже находит применение при мониторинге изменения площади засоленных земель, техногенно нарушенных лесов, болотных угодий [8–10]. Достаточно богат опыт выполнения подобных исследований за рубежом (см., например, [11–14]).

Применительно к задачам, поставленным нами, в качестве контрольно-измерительных полигонов для выявления во времени различных стадий негативных изменений были предложены три объекта антропогенно преобразованных экосистем. Для них мы располагали сведениями, относящимися к ретроспективной оценке их состояния (в частности, для окрестностей пос. Нижненикольского и Усть-Сокского карьера – сведения о состоянии на момент времени 30...40 лет назад). Специфика выбранных полигонов позволяла нам оценить среди негативных изменений в динамике: 1) формирование на месте выведенных из обработки полей залежей с участием древостоя разного видового состава; 2) развитие солонцов и солончаков под влиянием близко расположенной системы прудов (водохранилища). Третий сценарий изменений относился к визуализации стадий зарастания днища отработанного известкового карьера, что может рассматриваться как мониторинг естественной ревитализации растительного покрова после его уничтожения в ходе добычи минерального сырья открытым способом.

## 2. Методика исследований

В качестве контрольно-измерительных полигонов (КИП) для выявления во времени различных стадий негативных изменений были предложены три объекта, в которых выделялось от 2 до 5 эталонных участков (общее число эталонных участков – 11):

«Окрестности п. Нижненикольский» (сельское поселение Домашка, Кинельский муниципальный район Самарской области). Эталонные участки, заложенные в 2016 г., располагаются в 1,5 км к северо-северо-западу (эталонный участок 1) в 2 км к юго-юго-западу (эталонные участки 2–5) от п. Нижненикольский.

«Окрестности Пекилянского водохранилища» (в долине р. Гусиха, в 3 км на юго-западу от с. Пекилянка, Большечерниговский район Самарской области). В границах полигона изучались солонцовый луг и солончак с выходами кристаллов солей на поверхности почвы (эталонные участки 6, 7).

Усть-Сокский (Сокский, или Западный) карьер расположен на северном макросклоне западной части Соколых гор, в нескольких километрах от места впадения р. Сок в Саратовское водохранилище, в Красноглинском районе г.о. Самара (изучались эталонные участки 8–11).

Для данных объектов мы располагали сведениями, относящимися к ретроспективной оценке их состояния (в частности, для Нижненикольского и Усть-Сокского карьера – сведения о состоянии на момент времени 30...40 лет назад).

В ходе наземного комплексного обследования для заложенных на КИП эталонных участков с помощью GPS-привязки с использованием навигатора Garmin Etrex были определены координаты центральных точек, проведена комплексная оценка состояния почвенного и растительного покрова с определением проективного покрытия растений, составлены первичные списки видового состава растительности, которые были уточнены при камеральной обработке материалов. Полученные данные использовались для подготовки кратких экологических характеристик эталонных участков.

Для идентификации объектов по участкам КИП были использованы следующие снимки.

1) «Геотон», космический аппарат (КА) Ресурс-П, пространственное разрешение 0,8 м. Для создания геопривязанного изображения использовались панхроматические и мультиспектральные снимки. Панхроматический снимок (черно-белый) имеет разрешение 0,8 метров, мультиспектральный снимок – 2,4 метра и содержит четыре канала: красный, зеленый, синий и инфракрасный. Для создания цветного снимка разрешением 0,8 метров использовалось панхроматическое изображение для повышения пространственного разрешения мультиспектрального,

после обработки которых получалось комплексное изображение. Далее изображение было пересчитано из стандартной системы координат WGS-84 в местную систему Самарской области и наложено на карту области. Изображение было привязано с точностью до 2 пикселей, то есть до 1,6 метров. Для привязки было использовано полиномиальное преобразование второго порядка с опорными точками и точной моделью рельефа.

2) Spot-7, космический аппарат SPOT-7, пространственное разрешение 1,5 м. Для создания мультиспектрального снимка разрешением 1,5 метра было использовано программное обеспечение для обработки данных со спутников SPOT6/7. Далее изображение было пересчитано из стандартной системы координат WGS-84 в местную систему Самарской области и наложено на карту области. Изображение было привязано с точностью до 2 пикселей, то есть до 3 метров. Для привязки было использовано полиномиальное преобразование второго порядка с опорными точками и точной моделью рельефа.

3) Google Earth. Данные с Google Earth находятся в свободном доступе в сети Интернет. Данные изображения имеют высокое разрешение, но неточную привязку (местами погрешность до 50 метров). Перед обработкой данных изображений они были сохранены в формате tiff, далее привязаны вручную с помощью Менеджера растров в ГИС ИнГео. Для привязки использовалось проективное преобразование с использованием от пяти и более опорных точек.

Методом дерева решений [15] для каждого из КИП были построены классификаторы, позволяющие выделять на космических снимках территории со схожими характеристиками почвенно-растительного покрова. В качестве признаков для классификатора использовались: яркости в красном, зеленом, синем и ближнем инфракрасном спектральных каналах, нормализованный разностный индекс вегетации (NDVI) на основе NIR и G каналов [16], коэффициент хлорофилла [17], локальные в окне 3×3 среднее, дисперсия, коэффициенты корреляции и энтропия, текстурные признаки Харалика [19] и Габора [20]. Полученное множество из 41 признака с помощью преобразования методом главных компонент приводилось к сокращённому представлению с меньшим числом признаков N, которые использовались для обучения и классификации.

Эксперименты включали в себя обучение классификатора и его проверку на изображениях ДЗЗ с различным пространственным разрешением. Поскольку данные в инфракрасном канале имелись только для снимков КА Spot-7 и «Геотон», именно для этих снимков были произведены экспериментальные исследования. Пространственное разрешение снимков составило 1,6 м и 0,8 м соответственно. Целью экспериментов являлось определение наилучшего количества главных компонент N для построения классификатора. Оценка ошибки классификации выполнялась с помощью кросс-валидации по 100 запускам процедур обучения и классификации. Во всех экспериментах множество данных с известными результатами наземных обследований делилось на обучающую и контрольную выборки в соотношении 75:25 соответственно.

### 3. Результаты и их обсуждение

Результаты наземных обследований позволили нам охарактеризовать состояние эталонных участков КИП с учетом специфики сукцессионных изменений, связанных с изменением статуса антропогенной эксплуатации в последние годы.

КИП «Окрестности п. Нижненикольский», находящийся в долине р. Самары, имеет выровненный мезорельеф с абсолютной высотой 45...47 м над ур. м. В целом окрестности п. Нижненикольский приурочены к долине р. Самары (левобережье), от пойменной части до надпойменных террас и водораздела. В границах полигона представлены степные, лугово-степные и рудерально-степные сообщества, а также псевдолесные сообщества на разных стадиях развития, моноценозы сельхозкультур (в 2016 г – поля подсолнечника, посевы озимых злаков и др.). Рельеф местности характеризуется неоднородностью, часты понижения в форме старичных озер и пр., которые чередуются с плавными возвышениями. До 1990-х годов равнинные участки практически полностью использовались для земледелия, в понижениях по руслам временных водотоков, по берегам озер формировались леса с участием различных ив и тополей и примесью других древесных пород. Позднее распашка части угодий прекратилась, и начался процесс развития на них залежей, в последние годы отдельные залежные участки вновь вводятся в сельхозоборот. Эталонные участки, заложенные в 2016 г., представлены залежными участками (прекращение сельскохозяйственного возделывания более 20 лет), находящимися в процессе развития степным (эталонный участок № 4), полукустарниковым (эталонный участок № 3) и псевдолесными сообществами (эталонные участки № 1, 2 и 5).

Эталонный участок № 1 представляет собой залежь, на которой произошло формирование степного сообщества (разнотравно-злаковые ассоциации) с разреженными деревьями вяза мелколистного (карагач), подростом деревьев и кустарников. Возникновение подобных залежей с участием карагача наблюдается в степных районах Самарской области на возвышенных выровненных формах рельефа в отсутствие избыточного увлажнения. Древесный компонент залежи характеризуется высотой до 8 м, сомкнутостью крон до 0,2 (20%). Доля открытой поверхности почвы составила менее 1%. На участке выявлены свежие порои кабанов. Эталонный участок № 2 представляет залежь со сформированным псевдолесным сообществом из лоха узколистного, возрастом более 15 лет, с высотой древесного яруса 6–8 м, диаметром проекции крон от 3 до 5 м, сомкнутостью крон местами до 0,9 (90%), а в среднем 0,5 (50%).

Травяной ярус представлен разнотравно-злаковой ассоциацией. Открытая поверхность почвы не выражена. Зарастание лохом залежей сельхозугодий типично для южных районов области в понижениях рельефа при частичном засолении почвогрунтов. Эталонный участок № 3 – залежь, в настоящее время представляющая собой степное сообщество в виде полынно-злаковой ассоциации, в которой доминирует полынь высокая. Высота травостоя достигает 1 м с проективным покрытием более 80%. Открытая поверхность почвы не выражена. В местах прогона скота проявляется рудеральный характер зарастания. Эталонный участок № 4 – залежь, в настоящее время превратившаяся в разнотравно-злаковую ассоциацию степного типа с доминированием злаков. Высота травостоя в среднем составляет 30 см, проективное покрытие травостоя – более 80%. Открытая поверхность почвы не выражена. Эталонный участок № 5 – залежь, которая представлена степным сообществом в виде разнотравно-злаковой ассоциации с начальной стадией зарастания лохом узколистным. Проективное покрытие травостоя составляет более 80%. Молодые деревья лоха имеют высоту до 1,5 м с сомкнутостью крон местами до 0,6 (60%), а в среднем 0,35 (35%). Открытая поверхность почвы также не выражена.

Эксперименты по классификации участков КИП «Нижненикольский» показали, что наименьшая ошибка классификации достигается при использовании 9 главных компонент рассматриваемой системы признаков, при этом вероятность верной классификации для изображений КА Spot-7 составила 78% и 74% для КА «Геотон». Снижение эффективности обнаружения по сравнению со снимком более грубого разрешения следует связывать с использованием малых пространственных окон для вычисления текстурных признаков (в эксперименте применялись окна размером 3×3 пикселя). В итоге, на изображении с более высоким разрешением на один объект поверхности тех же размеров приходится большее число точек, поэтому для характеристики интенсивности изменений яркости в пределах некоторого окна следует использовать окна большего размера. Однако увеличение размера окна при большем размере изображения существенно увеличит время обработки, поэтому рекомендуется использовать снимки КА Spot-7 с разрешением 1,6 м. Проведенное исследование показывает, что наилучшим образом идентифицируются участки с псевдолесными сообществами. Степные сообщества классифицируются хуже всего. Псевдолесные сообщества по подвидам (с доминированием лоха узколистного или вяза мелколистного) классифицировать друг относительно друга не удастся.

**Таблица 1.** Формализованные итоги обучения классификатора и его проверки на изображениях ДЗЗ эталонных участков КИП

Критерии	Результаты обработки снимков	
	КА Spot-7	КА «Геотон»
КИП «Нижненикольский»		
Оптимальное количество главных компонент N	9	9
Вероятность верного обнаружения	78%	74%
КИП «Окрестности Пекилянского водохранилища»		
Оптимальное количество главных компонент N	3 (от 3 до 12)	9
Вероятность верного обнаружения	99%	98%
КИП «Усть-Сокский карьер»		
Оптимальное количество главных компонент N	9 (от 9)	9 (от 6 до 9)
Вероятность верного обнаружения	92%	85%

Построенный для участков №2-№5 КИП «Нижненикольский» классификатор был применен для участка № 1 КИП «Нижненикольский». Проведение результаты классификации (N=9) показали, что участок № 1 классифицируется в ту же группу, что и участок № 2, то есть относится к псевдолесному сообществу. Однако, как было указано выше, установить различия видового состава древесного яруса данных псевдолесных сообществ (зарастание вязом мелколистным либо лохом узколистным) при анализе изображений участков не удалось.

КИП «Окрестности Пекилянского водохранилища» приурочен к южной части Самарской области, которая характеризуется высокой степенью распашки коренных степей, однако сокращение площади возделываемых угодий привело в конце 90-х годов к формированию залежей с различными вариантами рудерализованных, степных и луговых растительных сообществ. Проводятся выпас скота, местами сенокосение. Характерно формирование прудов и водохранилищ при запруживании водотоков (для рассматриваемого полигона – р. Гусихи), которые используются для водоснабжения, орошения и рыборазведения. В прилегающих к данным водоемам участках происходит вторичное засоление почвенного покрова. Долина реки Гусихи с комплексом солонцовых почв используется под сенокосы и пастбища. Эталонный участок № 6 расположен северо-восточнее Пекилянского водохранилища, создание которого вызвало вторичное засоление почвы. Растительность представлена солонцовым лугом, в травяном покрове которого доминируют полынь малоцветковая и лебеда бородавчатая. Среднее проективное покрытие травостоя составляет 85%, открытая поверхность почвы составляет около 5%. Степень засоления можно охарактеризовать как умеренную, что подтверждает характер сформированных экосистем. Эталонный участок № 7 также расположен северо-восточнее

Пекилянского водохранилища. Его почвенный покров характеризуется сильно выраженным вторичным засолением, индикация которого осуществлена по изменению окраски травостоя, проявляющейся с середины вегетационного сезона. Почва представлена солончаком, на котором произрастают типичные галофиты, среди которых доминируют шведка рогатая и солерос европейский. Среднее проективное покрытие травостоя составляет 45%, а участки с обнажённой почвой – 55%. На поверхности открытой почвы присутствует белесо-желтоватая корка соляных отложений, идущая от поверхности до глубины 5 мм.

При работе с изображениями участков КИП «Окрестности Пекилянского водохранилища» по данным КА Spot-7 в соответствии с описанной ранее методикой было показано, что для классификации участков КИП можно использовать от 3 до 12 главных компонент системы признаков, при этом классификатор обеспечивает вероятность верной классификации порядка 99% (см. таблицу 1). Следует заметить, что из соображений ускорения вычислений целесообразно выбирать как можно меньшее количество признаков, поэтому оптимальным выбором в данном случае можно считать 3 главные компоненты. Результаты обучения и классификации КИП «Окрестности Пекилянского водохранилища» по данным КА «Геотон» позволили установить, что для классификации участков данного КИП лучший результат дает применение 9 главных компонент системы признаков, при этом классификатор обеспечивает вероятность верного обнаружения порядка 98%. Совмещение изображений показало, что ошибку классификатора следует относить к смещению маски относительно снимка, что говорит о необходимости выполнения очень точной привязки для снимков, по которым производится обучение классификатора. Проведенное исследование показывает, что сильное засоление почвы при условии, что участки с обнажённой почвой составляют не менее 55% поверхности (участок № 7 КИП «Окрестности Пекилянского водохранилища»), хорошо диагностируется по снимкам.

Усть-Сокский (Сокский, или Западный) карьер расположен на северном макросклоне западной части Соколых гор, в нескольких километрах от места впадения р. Сок в Саратовское водохранилище в Красноглинском районе г.о. Самара. Он представляет собой самый старый по времени освоения участок Сокского карбонатного месторождения, где осуществлялась промышленная добыча карбонатных пород для производства строительных материалов (щебня, бутового камня, строительных смесей). В результате разработки на северном склоне Соколых гор возникла крупная техногенная выемка корытообразной формы с максимальной протяженностью по дну с севера на юг менее 1 км и с запада на восток более 2 км. Относительная высота отвесных бортов техногенного котлована достигает десятков метров, в отдельных случаях – 100–150 м. В разное время после завершения эксплуатации карьера на его днище возникали свалки бытового и строительного мусора (не более 5% от площади днища). По настоящее время у северо-восточного борта карьера осуществляется складирование некондиционной породы с Центрального и Восточного участков Сокского месторождения, которая не затрагивает днища карьера, а распределяется только по его террасам. Тенденцией последних лет стало использование центральной и западной части днища под стрельбище, а также организация пеших экскурсионных маршрутов и маршрутов на квадроциклах к местному озеру и входам в штольни. С начала 70-х гг. XX в. промышленная добыча строительного сырья в Усть-Сокском карьере была прекращена и начали развиваться процессы естественного самозарастания и первичного почвообразования. Эталонный участок № 8 (в восточной части Усть-Сокского карьера) – сформировавшийся в процессе 40-летнего зарастания дна карьера лесной амфиценоз, представленный тополем черным, березой повислой и сосной обыкновенной в соотношении (1:1:1). Травяной покров под пологом древесной растительности и на открытых позициях практически не выражен. Высота древесного яруса составляет 8–10 м, сомкнутость крон – 0,6 (60%), доля открытой каменистой поверхности (доломиты, известняки) – 0,4 (40%). Эталонный участок № 9 (в центральной части карьера у озера) – сформировавшийся в процессе 40-летнего зарастания лесной амфиценоз, древостой в котором представлен тополем черным и ивой козьей в соотношении 9:1. Травяной покров практически не выражен, но на каменистом субстрате присутствуют отдельные куртины зеленых мхов. Высота древесного яруса составляет 6–9 м, сомкнутость крон – 0,8 (80%), доля открытой каменистой поверхности (доломиты, известняки) – 0,1 (10%). Эталонный участок № 10 (в центральной части карьера напротив штолен) – сформировавшийся в процессе 35-летнего зарастания лесной амфиценоз, древостой в котором представлен тополем черным, сосной обыкновенной и березой повислой в соотношении 6:2:1 с примесью осины и различных видов ивы. Травяной покров практически не выражен. Высота древесного яруса составляет 3–5 м, сомкнутость крон – 0,3 (30%), доля открытой каменистой поверхности (доломиты, известняки) – 0,7 (70%). Эталонный участок № 11 (в западной части карьера) – сформировавшийся в процессе 35-летнего зарастания лесной амфиценоз с древостоем, представленным тополем черным, сосной обыкновенной и березой повислой в соотношении 4:4:2. Травяной покров практически не выражен. Высота древесного яруса составляет 1,5–3 м, сомкнутость крон – 0,2 (20%), доля открытой каменистой поверхности (доломиты, известняки) – 0,8 (80%).

Для участков КИП «Усть-Сокский карьер» по данным КА Spot-7 в соответствии с описанной ранее методикой было получено, что высокое качество классификации обеспечивают 9 и более главных компонентов системы признаков, при этом вероятность верной классификации составляет примерно 92% (см. таблицу 1). Результаты обучения и классификации КИП «Усть-Сокский карьер» по данным КА «Геотон» позволили сделать вывод, что здесь для идентификации растительных сообществ можно использовать от 6 до 9 главных компонент системы признаков, при этом классификатор обеспечивает вероятность верного обнаружения порядка 85%. Проведенное исследование показывает, что участки КИП «Усть-Сокский карьер» могут быть классифицированы с использованием данных ДЗЗ, при этом меньшая ошибка классификации обеспечивается при использовании снимков КА Spot-7 с 9 главными компонентами в рассматриваемой системе признаков.

#### 4. Заключение

Таким образом, проведение полевых обследований и камеральной обработки данных по эталонным участкам на трёх контрольно-измерительных полигонах в различных районах Самарской области, с подбором данных ДЗЗ Spot-7, Геотон, Google Earth на данную территорию при последующем использовании в методике оценки территориальных ресурсов различных классификаторов геоданных с использованием дерева решений на основе ряда текстурных признаков показало несомненную перспективность данного подхода в оценке состояния и целевом планировании природопользования в Самарской области. Продемонстрирована возможность выявления регионально значимых симптомов негативного состояния почвенно-растительного покрова (стадии зарастания залежей, признаки почвенного засоления). С наименьшей погрешностью в выявлении сукцессионных изменений антропогенно преобразованных экосистем целесообразно использовать снимки космического аппарата SPOT-7 с пространственным разрешением 1,5 м. Актуально развитие данной методологии с целью достижения более детальной классификации типов растительного покрова на снимках, в частности – выявления породного состава древесного яруса лесных сообществ.

#### Благодарности

Авторы благодарят Государственное автономное учреждение Самарской области «Центр инновационного развития и кластерных инициатив» за предоставленную возможность выполнения данного исследования.

#### Литература

- [1] Атлас земель Самарской области / под ред. Л.Н. Порошиной. – Самара, 2002. – 101 с.
- [2] Кавеленова, Л.М. Некоторые аспекты сохранения фиторазнообразия в антропогенно преобразованной среде (на примере Самарской области) / Л.М. Кавеленова, С.А. Розно, А.В. Помогайбин [и др.] // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2012. – Т. 14. – № 1 (9). – С. 2233-2236.
- [3] Кавеленова, Л.М. Сохранение фиторазнообразия как составная часть стратегии устойчивого развития Самарской области / Л.М. Кавеленова, Н.В. Прохорова, А.А. Головлёв, С.А. Розно // Поволжский экологический журнал. – 2014. – № 1. – С. 12- 20.
- [4] Государственный доклад о состоянии окружающей среды и природных ресурсов Самарской области за 2014 год. Выпуск 25. – Самара, 2015. – 298 с.
- [5] Ледовских, А.А. Проблема «брошенных» земель в Самарской области / А.А. Ледовских, Е.Б. Калашникова // Апробация. – 2015. – № 6 (33). – С. 107-109.
- [6] Государственный доклад о состоянии окружающей среды и природных ресурсов Самарской области за 2015 год. Выпуск 26. – Самара, 2016. – 296 с.
- [7] Шевырев, С.Л. О проведении спутникового мониторинга горнодобывающих предприятий Приморского края (на примере разреза «Павловский-2») / С.Л. Шевырев, Г.А. Анциферова, М.Ж. Шевырева // Вестник ВГУ. Сер. Геология. – 2015. – № 2. – С. 128-133.
- [8] Лямина, В.А. Использование методов ГИС и ДЗЗ для мониторинга площади озёр и солончаков на территории юга Западной Сибири / В.А. Лямина, Н.В. Глушкова, Е.Н. Смоленцева, И.Д. Зольников // Интерэкспо Гео-Сибирь. – 2010. – № 2. – С. 3-7.
- [9] Черосов, М.М. Опыт применения ГИС технологий и ДЗЗ для оценки влияния антропогенного фактора на растительность отдельных территорий Якутии / М.М. Черосов, Е.В. Аммосова, Т.И. Саввина [и др.] // Успехи современного естествознания. – 2012. – № 11 (1). – С. 63-65.
- [10] Глушкова, Н.В. Анализ динамики засоленных комплексов для оценки степени аридизации территории западной Сибири на основе ГИС и ДЗ / Н.В. Глушкова, Д.А. Чупина, С.А. Котлер // Интерэкспо Гео-Сибирь. – 2013. – № 2. – С. 77-81.
- [11] El-Asmar, H.M. Change detection of the coastal zone east of the Nile Delta using remote sensing / H.M. El-Asmar, M.E. Hereher // Environ. Earth Sci. – 2011. – V. 62 (4). – P. 769-777.
- [12] Rebelo, L.M. Remote sensing and GIS for wetland inventory, mapping and change analysis / L.M. Rebelo, C.M. Finlayson, N. Nagabhatla // J. Environ. Manage. – 2009. – V. 90. – P. 2144-2153.
- [13] Alavi Panah, S.K. Relationship between the Landsat TM, MSS data and soil salinity / S.K. Alavi Panah, R. Goossens // J. Agric. Sci. Technol. – 2001. – V. 3. – P. 21-31.
- [14] Eldeiry, A.A. Detecting soil salinity in alfalfa fields using spatial modeling and remote sensing / A.A. Eldeiry, L.A. Garcia // Soil Sci. Soc. Am. J. – 2008. – V. 72 (1). – P. 201-211.
- [15] Kalra, N.K. Potentiality of Landsat, SPOT and IRS satellite imagery, for recognition of salt affected soils in Indian Arid Zone / N.K. Kalra, D.C. Joshi // Int. J. Remote Sens. – 1996. – V. 17 (15). P. 3001-3014.
- [16] Кузнецов, А. В. Сравнение алгоритмов управляемой поэлементной классификации гиперспектральных изображений / А. В. Кузнецов, В.В. Мясников // Компьютерная оптика. – 2014. – Т. 38(3). – С. 494-502.
- [17] Pettorelli, N. Using the satellite-derived NDVI to assess ecological responses to environmental change [Text] / N. Pettorelli, J. Olav Vik, A. Mysterud, J.-M. Gaillard, C.J. Tucker, N. C. Stenseth // Trends in ecology & evolution. – 2005. – V. 20. – N. 9. – P. 503-510.
- [18] Marx A. Erkennung von borkenkäferbefall in fichtenreinbeständen mit multi-temporalen rapideye-satellitenbildern und datamining-techniken [Text] / A. Marx // Photogrammetrie, Fernerkundung, Geoinformation. – 2010. – V. 4. – P. 243-252.
- [19] Haralick, R. M. Textural features for image classification [Text] / R.M. Haralick, K. Shanmugam // IEEE Transactions on systems, man, and cybernetics. – 1973. – N. 6. – P. 610-621.
- [20] Fogel, I. Gabor filters as texture discriminator [Text] / I. Fogel, D. Sagi // Biological cybernetics. – 1989. – V. 61, N. 2. – С. 103-113.