

РЕГИОНАЛЬНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ГЛОБАЛЬНОГО ПРОЦЕССА ОПУСТЫНИВАНИЯ В СЕВЕРО-ЗАПАДНОМ ПРИКАСПИИ

К.М. Петров^{1*}, В.А. Бананова², В.Г. Лазарева³, А.С. Унагаев⁴

¹ Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия;

² Калмыцкий государственный университет, г. Элиста;

³ Ухтинский государственный технический университет, г. Ухта;

⁴ Всероссийский научно-исследовательский геологический институт им. А.П. Карпинского,

Санкт-Петербург, Россия

*Эл. почта: k.petrov@spbu.ru

Статья поступила в редакцию 29.12.2015; принята к печати 26.02.2016

Организация Объединенных Наций объявила о научной программе «Десятилетие, посвященное пустыням и борьбе с опустыниванием». Планируется в период с 2010 по 2020 г. повышать информированность общественности о необходимости защищать земли от деградации. Настоящая статья содержит краткий обзор основных работ, опубликованных в России с начала XXI в. по общим методологическим проблемам опустынивания. На основе международного опыта сформулированы критерии, раскрывающие характер и интенсивность процессов опустынивания. Отмечается, что важным фактором, вызывающим деградацию земель, является аридизация климата. Процессы опустынивания на региональном уровне рассматриваются на примере Северо-Западного Прикаспия, представляющего собой западную окраину пояса Великих азиатских пустынь. В качестве объектов мониторинга нарушения природной среды выступают: деградация растительности; состояние земельных угодий и оросительных систем; колебания уровня Каспийского моря; развитие транспортной сети, городов и населенных пунктов. Обсуждается концепция картографического мониторинга деградации аридных экосистем и приводится карта современного опустынивания Северо-Западного Прикаспия. Обновления карты, учитывающие динамичные процессы деградации земель, могут осуществляться благодаря использованию ГИС-технологий.

Ключевые слова: критерии опустынивания, Северо-Западный Прикаспий, картографический мониторинг, концепция карты опустынивания.

REGIONAL MANIFESTATION OF GLOBAL DESERTIFICATION IN NORTHWEST PRECASPIAN REGION

K.M. Petrov^{1*}, V.A. Bananova², V.G. Lazareva³, A.S. Unagaev⁴

¹ Saint-Petersburg State University, Saint Petersburg, Russia;

² Kalmyk State University, Elista, the Russian Federation;

³ Ukhta State Technical University, Ukhta, the Russian Federation;

⁴ A.P. Karpinskiy All-Russia Geological Research Institute, Saint Petersburg, Russia

*E-mail: k.petrov@spbu.ru

Desertification is one of the most alarming processes leading to degradation of the environment and to reduction of agricultural lands. In order to address this issue and to raise public awareness of the need to protect the land from degradation, the United Nations announced a research program "UN Decade for Deserts and the Fight against Desertification" for 2010 throughout 2020. The present paper briefly reviews the main publications issued in Russia from the beginning of the XXI century about the general methodological problems of desertification. Criteria for defining the nature and intensity of desertification are suggested based on international experience. Climate aridity is one of the most important factors of land degradation. Despite of ongoing international efforts, the threat of desertification is still real. The Northwest Precaspian region, which represents the western edge of the Great Asian Deserts belt, is used as an example to examine the processes of desertification at a regional level. The degradation of vegetation, the conditions of land and irrigation systems, the fluctuations of Caspian Sea level, and the development of transport networks, cities and towns in the region are used as the objects of monitoring of the levels of destruction of the natural environment. The concept of cartographic monitoring of the degradation of arid ecosystems is discussed, and a map of modern desertification of the Northwest Para-Caspian is suggested. Due to GIS technologies, the map may be updated with account of dynamic processes of land degradation.

Keywords: criterion of desertification, North-Western Precaspian, cartographic monitoring, desertification map.

В современном мире 2,1 млрд человек или примерно 40% населения мира проживают в пустынных или засушливых районах. Во всем мире 25% суши затронуто опустыниванием, это составляет 3,6 млрд гектаров земли и затрагивает непосредственно интересы более 1 млрд человек (<http://www.un.org/russian/ga/unep/>). Конвенция ООН по борьбе с опустыниванием определяет его как деградацию земель в засушливых районах в результате действия различных факторов, прежде всего аридизации климата и увеличения хозяйственной

деятельности человека. Термин «земля» в этом определении выражает биопродуктивную систему, включающую почву, воду, растительность; «деградация» означает потерю биологической и экономической продуктивности земель. Опустынивание обычно связано с засухой, но главной причиной, как правило, является человеческая деятельность – перевыпас скота, чрезмерная обработка пахотных земель и неконтролируемый режим орошения. В результате опустынивания ежегодно теряется 12 млн гектаров земли (рис. 1).

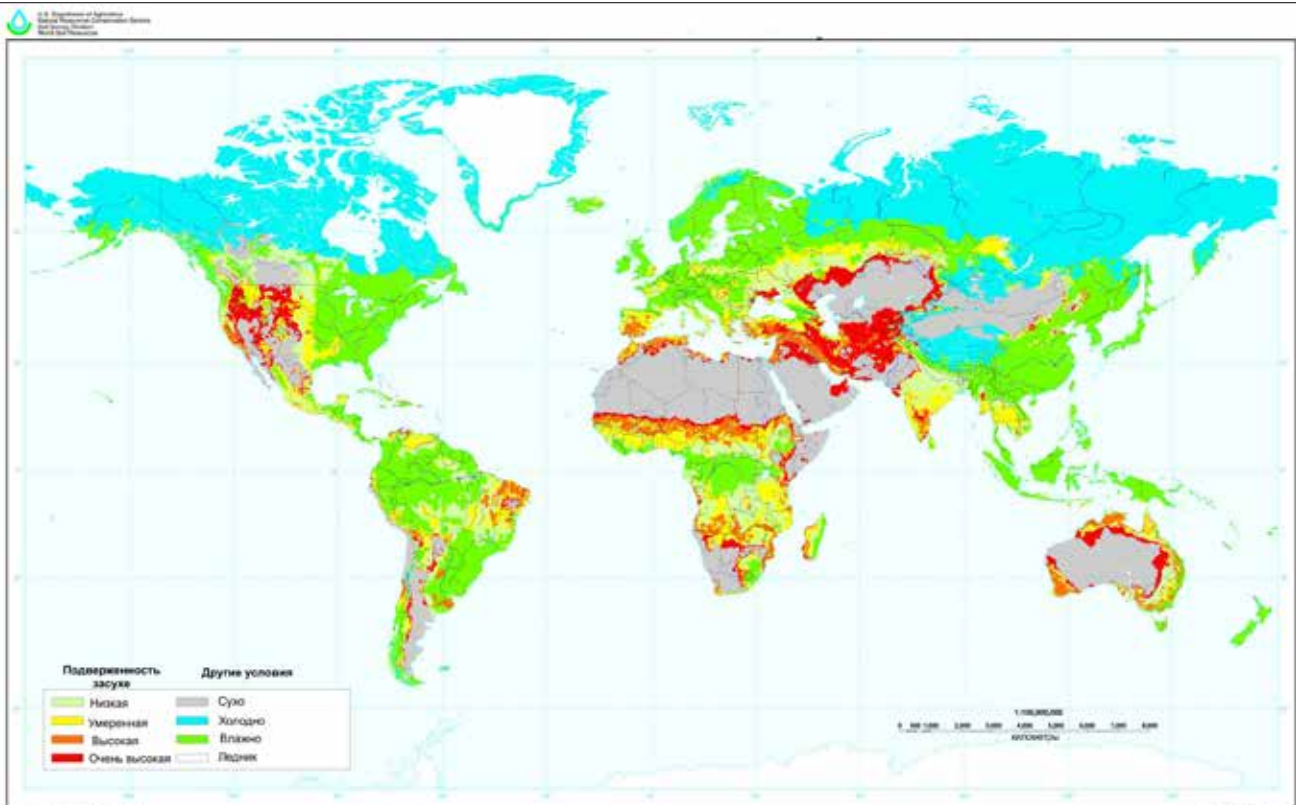


Рис. 1. Типизация ландшафтов по степени уязвимости к опустыниванию (<http://www.un.org/russian/ga/unep/>)

1. Международный опыт по борьбе с опустыниванием

Опустынивание является одним из наиболее тревожных процессов, ведущих к деградации окружающей среды. В результате опустынивания площадь сельскохозяйственных земель постоянно сокращается. Международный и отечественный опыт позволяет сформулировать основные критерии, раскрывающие характер и интенсивность процессов опустынивания и экологической дестабилизации.

Растительный покров является главным биологическим индикатором процессов опустынивания. Изменение в сторону уменьшения таких признаков, как величины проективного покрытия и продуктивности, разнообразия видового состава и жизненных форм, указывает на деградацию растительных сообществ.

Ветровая эрозия приводит к развеиванию песчаных толщ, лишенных растительного покрова, и формированию форм эолового рельефа, которые имеют площадное или очаговое распространение. Отношение площади закрепленных песков к площади слабо-закрепленных и подвижных песков – важный критерий опустынивания.

Водная эрозия как фактор опустынивания находит выражение в густоте сухих русел, мощности почвенного профиля (степень смывости почв) и проективном покрытии растительности. Интенсивность водной эрозии на пологих задернованных склонах – наименьшая, на крутых, лишенных растительности, – наибольшая.

Деградация почв происходит в результате смыва или выдувания плодородного слоя. Средний и легкий суглинки характеризуют умеренную опасность опустынивания, супесь – сильную, а песок – очень сильную.

Вторичное засоление почв, вызывающее резкое снижение биологической продуктивности растительности, происходит в результате нерегулируемого орошения засоленных почвогрунтов с близким залеганием высокоминерализованных грунтовых вод. Критерием опустынивания служит величина площади вторично засоленных земель.

Конвенция ООН по борьбе с опустыниванием, принятая в 1994 г., была направлена на организацию действий, способствующих устойчивому развитию стран, подверженных опустыниванию. После принятия конвенции появились крупные обобщающие труды, посвященные общим методологическим проблемам опустынивания. Главный акцент в них делался на колебания климата как важнейшего фактора, вызывающего деградацию земель. К числу основных монографий относятся: *Rangeland Desertification* [24]; *The Future of Drylands* [16]; *Climate and Land Degradation* [18]; *Land Degradation and Desertification: Assessment, Mitigation and Remediation* [22].

Среди работ, посвященных региональным проблемам опустынивания, следует назвать: *Desertification in the Mediterranean Region* [20]; *Desertification and its control in China* [17], *Combating Desertification in Asia, Africa and the Middle East* [19]. Основные проблемы опустынивания засушливых земель России рассмотрены в коллективных монографиях «Оценочный доклад...» [11], «Опустынивание засушливых...» [10]. Методике применения данных дистанционного зондирования высокого и среднего разрешения для изучения процессов опустынивания посвящена книга *Desertification and Risk Analysis Using High and Medium Resolution Satellite Data* [23].

В монографии «Климат и деградация земель» [18] обсуждаются экономические и социальные риски, порожденные колебанием климата и антропогенными

факторами. Авторы отмечают, что длительное сельскохозяйственное производство ведет к деградации почв, что является серьезной предпосылкой к снижению урожайности. Деятельность Всемирной метеорологической организации (The World Meteorological Organization) способствует пониманию взаимодействия между климатом и деградацией земель путем создания специальной системы метеорологических наблюдений и разработки методов рационального управления водными ресурсами. Достижения в области прогноза климатических изменений, ведущих к засухе, позволяют выбрать рациональные методы землепользования.

Генеральная Ассамблея ООН, выразив обеспокоенность ростом процессов опустынивания и указав при этом на колоссальные проблемы, которые ожидают человечество в ближайшем будущем, провозгласила 2006 г. Международным годом пустынь и опустынивания. Страны ОПЕК (ОПЕС), Фонд международной Организации развития (OFID), Программа развития ООН ЮНЕСКО сфокусировали свое внимание на мероприятиях по увеличению потока информации о погоде и климате с целью борьбы с опустыниванием.

Международный семинар по климату и деградации земель (Танзания, 2006 г.) выработал следующие рекомендации: 1) разработать методологии сбора и обработки информации на разных уровнях, необходимых для повышения качества мониторинга и прогноза процессов деградации земель; 2) произвести оценку несущей способности экосистем с целью разумного ограничения эксплуатации ресурсного потенциала ландшафта; 3) разработать инновационные и адаптивные методы управления земельными ресурсами в условиях изменчивости климата и стихийных бедствий; 4) использовать рациональные методы управления земельными ресурсами в районах, подверженных опустыниванию; 5) расширить и укрепить сеть гидро- и агрометеорологических станций во всем мире; 6) внедрять комплексный агроэкологический подход при восстановлении деградированных земель.

Актуальные проблемы опустынивания засушливых земель России в постсоветский период рассмотрены в коллективной монографии «Опустынивание засушливых земель России» [10]. Они включают вопросы соотношения климатического и антропоген-

ного факторов опустынивания, динамики климата и ее влияние на развитие растительного покрова и современных тенденций социально-экономического развития засушливых земель. Особо отмечается, что на фоне непрерывно возрастающего негативного влияния антропогенного фактора важную роль играют изменения климата. Растительный покров отвечает даже на незначительное повышение количества осадков повышением биопродуктивности и ее снижением в период засухи.

Несмотря на многолетние усилия международных и региональных организаций и огромные финансовые затраты, земли, пригодные для сельскохозяйственного использования, продолжают сокращаться, угрожая продовольственной безопасности и провоцируя экологические и гуманитарные кризисы. В связи с этим Организация Объединенных Наций 16 августа 2010 г. в Бразилии вновь объявила о научной программе «Десятилетие, посвященное пустыням и борьбе с опустыниванием». В период с 2010 по 2020 г. планируется активизировать меры по повышению информированности общественности о необходимости защитить земли от деградации и улучшить качество засушливых территорий (http://www.un.org/ru/events/desertification_decade/).

Процессы опустынивания на региональном уровне предлагается рассмотреть на примере Северо-Западного Прикаспия.

2. Мониторинг состояния земель Северо-Западного Прикаспия

На равнинных засушливых землях юго-востока европейской части России особо выделяется территория Северо-Западного Прикаспия, представляющая собой западную окраину пояса Великих азиатских пустынь (рис. 2).

Ландшафты Северо-Западного Прикаспия, находящиеся в зоне экстремальных природных условий, периодически испытывают существенную утрату ресурсного и экологического потенциала. Объектами мониторинга нарушения природной среды являются: деградация растительности; состояние земельных угодий и оросительных систем; колебания уровня Каспийского моря; развитие транспортной сети, городов и населенных пунктов.

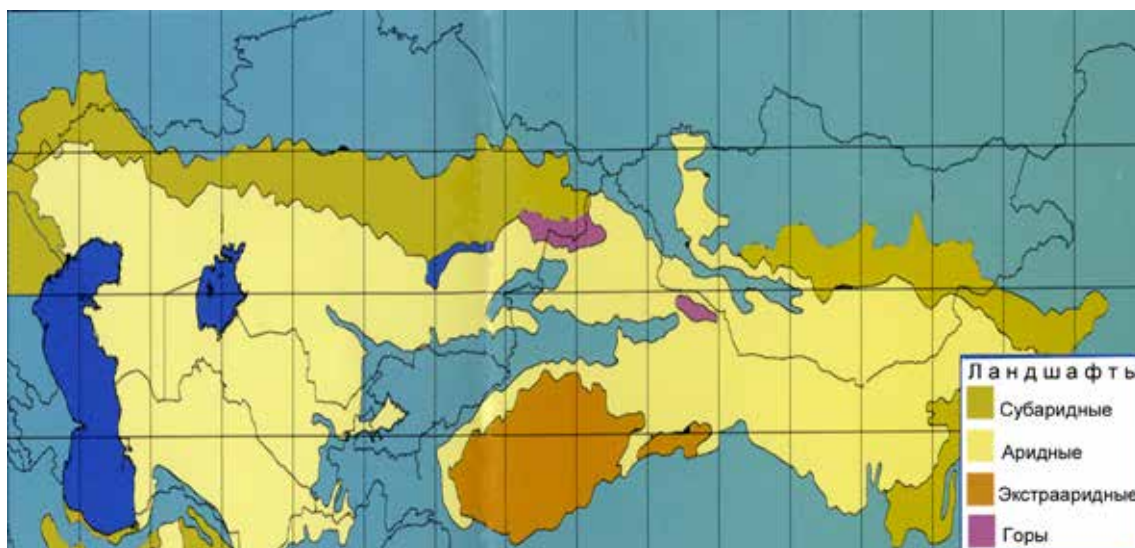


Рис. 2. Субаридные, аридные и экстрааридные ландшафты, устойчивость которых к антропогенному воздействию уменьшается по мере уменьшения количества атмосферных осадков [21]

2.1. Деграляция растительности как индикатор процесса опустынивания

Ведущим фактором опустынивания Северо-Западного Прикаспия является чрезмерная пастбищная нагрузка. Она определяет степень деграляции земель, что служит основанием для выделения классов опустынивания.

С первой половины прошлого века и до настоящего времени на территории Северо-Западного Прикаспия выделяются периоды то с большей, то с меньшей площадью опустыненных земель. В первой половине XX в. здесь господствовали ковыльные и житняковые с кохией степи [14, 7]. В результате усиливающегося скотобоя степные злаки стали вытесняться белой полынью и плохо поедаемыми видами.

Наиболее сильное антропогенное опустынивание происходит в результате нерационального использования пастбищных угодий. Например, черноземельские пастбища, занимающие более 70% территории Калмыцкого Прикаспия, издавна использовались в качестве зимних отгонных пастбищ. В середине 50-х гг. XX в. они находились в состоянии экологического равновесия: средняя урожайность пастбищ составляла 4,1 ц/га при фактической нагрузке 0,3–0,7 условных овец на гектар (норма – 0,8). С начала 60-х гг. XX в. эти пастбища стали использовать круглогодично. Ежегодно количество выпасаемого на них скота увеличивалось, перегрузка пастбищ в этот период варьировала от 320 до 550%, а средняя урожайность в результате сильного перевыпаса снизилась до 0,8–1,4 ц/га [1]. В 1985 г. в Калмыкии насчитывалось более трех миллионов голов овец, нагрузка на пастбищах по отношению к фактической урожайности травостоя превышала норму в 4,2 раза, формируя сильную и очень сильную стадии пастбищной дигрессии. На песчаных почвах уничтожение растительности вело к формированию эолового рельефа; на каштановых почвах происходило уплотнение верхних горизонтов, что способствовало их засолению.

Однако в конце XX в. климат в среднем за год стал теплее и влажнее [4, 13, 12]. Следствием мягких зим, ослабления промерзания почв и увеличения осадков холодного периода было повышение влагосодержания почв весной. В итоге весеннее повышение увлажнения территории стало одной из предпосылок широкомасштабного восстановления естественных компонентов биоты – процесса демутации злаковых сообществ (остепнения) [3, 9, 15].

В течение 1990–2000 гг. в связи с социально-экономической перестройкой в стране поголовье скота в Калмыкии снизилось почти в три раза. В подавляющем большинстве районов к 1997 г. фактическая нагрузка скота на пастбищах стала в 1,5 раза ниже их емкости. В результате демутации растительности в травостое стали доминировать дерновинные злаки. После 2000 г. поголовье скота стало увеличиваться, что вновь привело к дигрессии растительности и возрастанию темпов опустынивания. Вместе с тем следует отметить, что с начала XXI в. увеличилась опасность атмосферных засух. Сохраняются предпосылки катастрофического опустынивания во время особенно сильных засух [5, 6].

Космический мониторинг позволяет проследить динамику процессов опустынивания ландшафтов Северо-Западного Прикаспия. Хорошим показателем состояния экосистем служит вегетационный индекс

NDVI, который отражает изменение продуктивности растительного покрова.

Концепция NDVI базируется на разном отражении радиационных потоков растительным покровом в видимом (0,58–0,68 мкм) диапазоне солнечного спектра (K1) и ближнем инфракрасном (0,725–1,10 мкм) диапазоне (K2). Механизм образования хлорофилла и отражения радиации листьями является причиной низкого отражения в K1 и высокого отражения в K2. Разности между оценками отражения в этих каналах с последующим нормированием на их сумму используется для вычисления NDVI:

$$NDVI = (K2 - K1)/(K2 + K1).$$

NDVI имеет высокую корреляцию с живой фитомассой и ее продуктивностью [24]. NDVI меняются от минимальных значений (0,01–0,03) в гипераридных землях до 0,7–0,8 в лесах умеренных широт.

Для определения динамики процессов опустынивания в Северо-Западном Прикаспии прослежены изменения NDVI по данным космических снимков (КС) 1984, 2000 и 2013 гг. (рис. 3).

Определение величины относительной площади каждого класса опустынивания производится путем расчетов площади различной градации значений NDVI к общей площади территории и выражается в процентах. Результаты расчетов приведены на графиках (рис. 4). Их анализ показывает, что площадь земель, опустыненных в очень сильной степени, в 1984 г. составляла 8,5%, а в 2013 г. уменьшилась до 2,2%. Площади земель, подверженных опустыниванию в сильной степени за период с 2000 по 2013 г., увеличились на 11%. За эти же годы площади земель, подверженных опустыниванию в слабой степени, уменьшились на 10%. Площади ландшафтов, подверженных опустыниванию в умеренной степени, к 2013 г. сократились на 6%.

2.2. Состояние земельных угодий

Объектами мониторинга послужили пашни и орошаемые земли. В Сарпинской низменности пахотные земли занимают в основном западины с лугово-каштановыми почвами. Попытки создания в Северо-Западном Прикаспии массивов богарных (неорошаемых) пашен на светло-каштановых почвах не увенчались успехом. Пашни забрасывались и превращались в залежи. Распаханные песчаные почвы подвергались ветровой эрозии, и на их месте возникали массивы подвижных песков (рис. 5).

На старых залежных землях процессы демутации вели к восстановлению коренной растительности. Молодая или бурьянистая залежь зарастала сначала однолетними и многолетними сорняками. Через 5–6 лет залежь переходила во вторую средневозрастную стадию, для которой господствующим видом являлся острец (*Leymus ramosus*). Эта стадия длилась 10–15 лет. Почва уплотнялась все больше, и наступала третья стадия зацеления, через 30–40 лет восстанавливались белополынно-прутняково-дерновиннозлаковые сообщества зонального типа растительности. Процесс зацеления залежей часто нарушался выпасом скота. В этом случае формировались сообщества прутняка, белой полыни со значительным участием мятлика, эбелека и эфемеров.

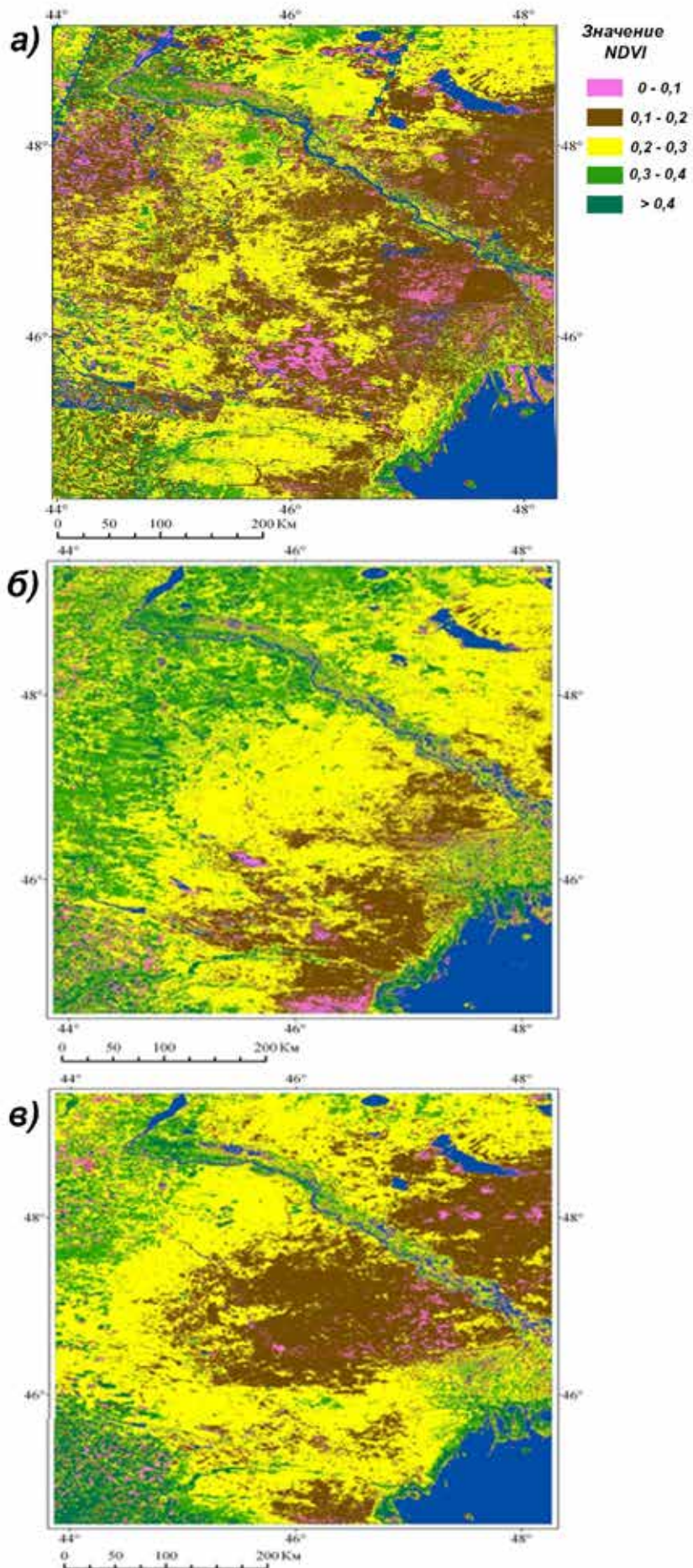


Рис. 3. Изменение NDVI по КС: а) Landsat май 1984; б) MODIS май 2000; в) MODIS май 2013

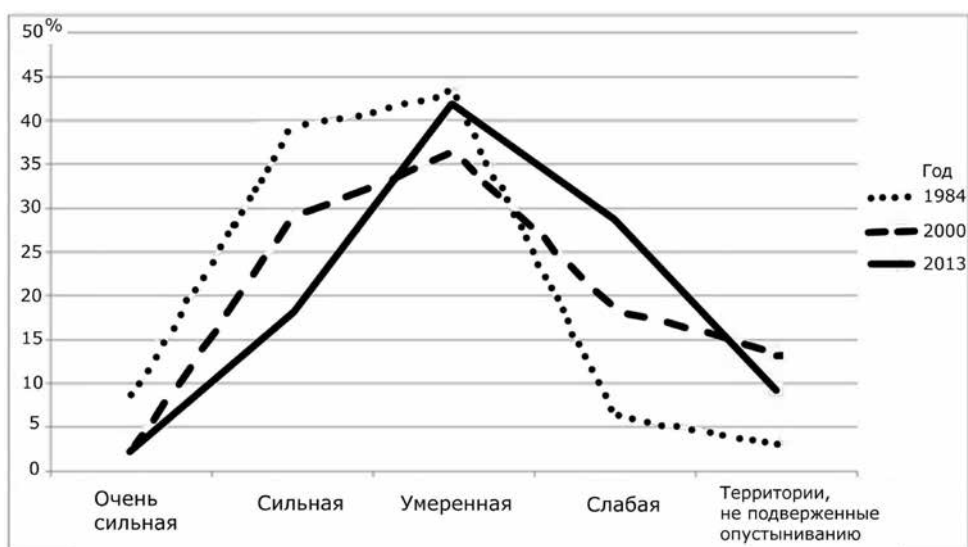


Рис. 4. Изменение площадей ландшафтов Северо-Западного Прикаспия, подверженных опустыниванию в разной степени, за период с 1984 по 2013 г.

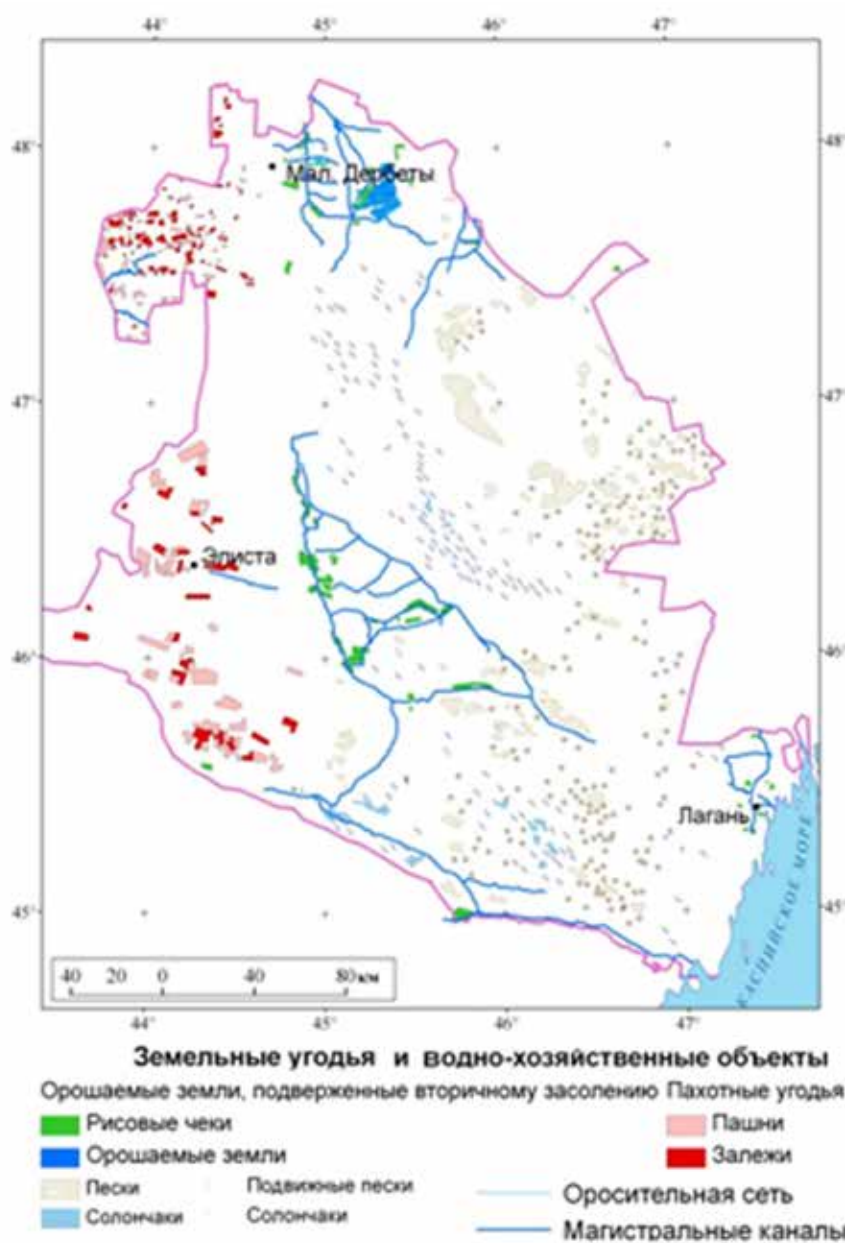


Рис. 5. Земельные угодья и водно-хозяйственные объекты

На орошаемых угодьях, использование которых прекращалось из-за вторичного засоления почвы, формировались группировки солероса, однолетних солянок, шведки и лебеды бородавчатой.

2.3. Оросительные системы

В 70–80 гг. XX в. в Сарпинской низменности и Черных Землях стали строиться ирригационные каналы и создаваться крупные массивы орошаемых земель (рис. 5). Эксплуатация ирригационных систем сопровождается боковой фильтрацией, что приводит к нарушению водно-солевого режима прилегающих земель. Поскольку почвы Северо-Западного Прикаспия развиты на засоленных морских отложениях, орошение ведет к подъему уровня соленых грунтовых вод, их капиллярному подтягиванию к дневной поверхности, испарению, после чего в толще грунта и на поверхности почвы накапливаются соли.

Ирригационные каналы по характеру своего экологического воздействия делятся на два типа. К первому типу относятся Яшкульский канал, проложенный в суглинистых и глинистых грунтах; ко второму – каналы Каспийской системы, проложенные в супесях и песках.

У Яшкульского канала в полосе 0–20 м от уреза воды сумма токсичных солей составляет 60% от общего количества. Индикатором хлоридно-натриевого засоления являются солеросовые (*Salicornia europaea*) микрогруппировки в тростниковых зарослях (*Phragmites australis*). На расстоянии 20–25 м от канала засоленность почв достигает максимума, травостой становится чисто солеросовым; в полосе 50–130 м его сменяет галофитный бородавчатолебедово-бескильницевоый луг (*Atriplex verrucifera* + *Puccinellia distans*). За пределами приканальной зоны простирается анабазисно-чернопыльняная (*Anabasis aphylla* + *Artemisia pauciflora*) фоновая ассоциация.

В зоне влияния каналов Каспийской системы, относящихся ко второму типу, сложилась наиболее тяжелая мелиоративная обстановка, где эффективность работы дренажно-сбросной сети очень низка. Вся сбросная и дренажная вода путем откачки поступает в близко расположенные ильмени и другие естественные понижения, которые быстро переполняются и сами становятся источником питания грунтовых вод. При такой коллекторно-дренажной сети и режиме ее работы орошаемые участки засоляются и выводятся из оборота за 1–2 года. В результате в районе г. Лагань вторичное засоление охватило до 90% поливных земель.

2.4. Колебания уровня Каспийского моря

На равнине Северо-Западного Прикаспия, обращенной к Каспийскому морю, развиты ландшафты бэровских бугров и подстепных ильменей (I), верхнехвалынской супесчаной пологоволнистой равнины (II), верхнехвалынской песчаной бугристой равнины (III), новокаспийской равнины и тростниковых плавней (IV). Космическое изображение этих ландшафтов представлено на рис. 6.

Изменения уровня Каспийского моря оказывают огромное влияние на экосистемы новокаспийской равнины и тростниковых плавней. Данные об изменении водного баланса и связанных с ним колебаний уровня Каспийского моря в XX–XXI вв. выглядят следующим образом [2]: с 1900 по 1927 г. водный баланс Каспийского моря был положительным и относительно стабильным. Уровень моря в это время

варьировал возле отметок –25,0и –26,2 м. С 1930 по 1941 г. наблюдался значительный дефицит водного баланса в связи с сокращением стока рек, особенно Волги, что привело к снижению уровня моря на 1,8 м. С 1942 по 1977 г. наблюдался умеренный дефицит водного баланса речного стока. В течение этого периода уровень моря снизился дополнительно на 1,3 м и остановился на отметке –29,0 м (рис. 7).

В результате регрессии моря сформировался ландшафт приморской песчано-солончаковой низкой равнины ниже абсолютной отметки –25,5 м. На первой приморской террасе выделяются разновозрастные уровни фаций, этапы формирования которых связаны со стадиями регрессии Каспийского моря. Приведем описание растительности Ю.М. Мирошниченко [8] от низких отметок поверхности террасы к более высоким.

Вдоль всего побережья Каспийского моря от дельты Волги до Брянской косы, находящегося под воздействием опресненных морских вод, на мелководьях, на песчаных с ракушей отложениях поселяется прибрежно-водная растительность. На глубине 10–20 см преобладают заросли частухи (*Alisma plantago-aquatica*), наяды (*Najas marina*), рдестов (*Potamogeton pectinatus*, *P. perfoliatus*), урути (*Myriophyllum spicatum*) с общим покрытием 40–50%. С приближением к берегу увеличивается обилие камышей (*Scirpus lacustris*, *S. tabernaemontanii*), рогозов (*Typha laxmanii*, *T. angustifolia*), появляется тростник (*Phragmites australis*). Между ними в воде обильно произрастает ситняг (*Eleocharis acicularis*).

Фации нижнего уровня морской террасы: – от –29,0 до –27,0 м. Западная часть этих террас осушилась в 1940 г., а приморская часть стала сушей в 1977 г. Фации этого уровня регулярно весной и осенью затопливались опресненной морской водой, благодаря чему почвогрунты промывались. Даже к концу лета, когда происходило усиленное подтягивание солей к поверхности, верхние слои почвы оставались незасоленными. Уровень грунтовых вод держался у поверхности, что создавало благоприятные условия для пышного развития тростниковых плавней, опоясывающих побережье широкой полосой. Тростниковые заросли сплошные, густые (проективное покрытие 100%), высокие (2,5–3,5 м), преимущественно одновидовые.

В сторону суши уровень грунтовых вод постепенно понижался до 1 м. Заросли тростника редели, их проективное покрытие уменьшалось. Западная окраина фации нижнего уровня затоплялась значительно меньшим слоем воды, поэтому почвогрунты здесь промывались слабее. С наступлением жары соленые грунтовые воды с глубины 1,5 м поднимались по капиллярам к поверхности и, испаряясь, обуславливали сильное засоление верхних горизонтов почвы. Здесь формировалось тростниково-бескильницевое сообщество на солончаковых карбонатных почвах со значительной примесью галофитов: *Salicornia europaea*, *Salsola soda*, *Spergularia salina*, *Sueda confusa*, *Limonium caspium*, *L. gmelinii*, *Aeluropus littoralis*, *Puccinellia gigantea*.

Фации среднего уровня морской террасы от –27,0 до –26,7 м вышли из-под уровня моря в 1937 г. Почвогрунты промываются здесь значительно слабее, что обуславливает большее засоление почв. Почвы – солончаковые карбонатные на новокаспийских от-

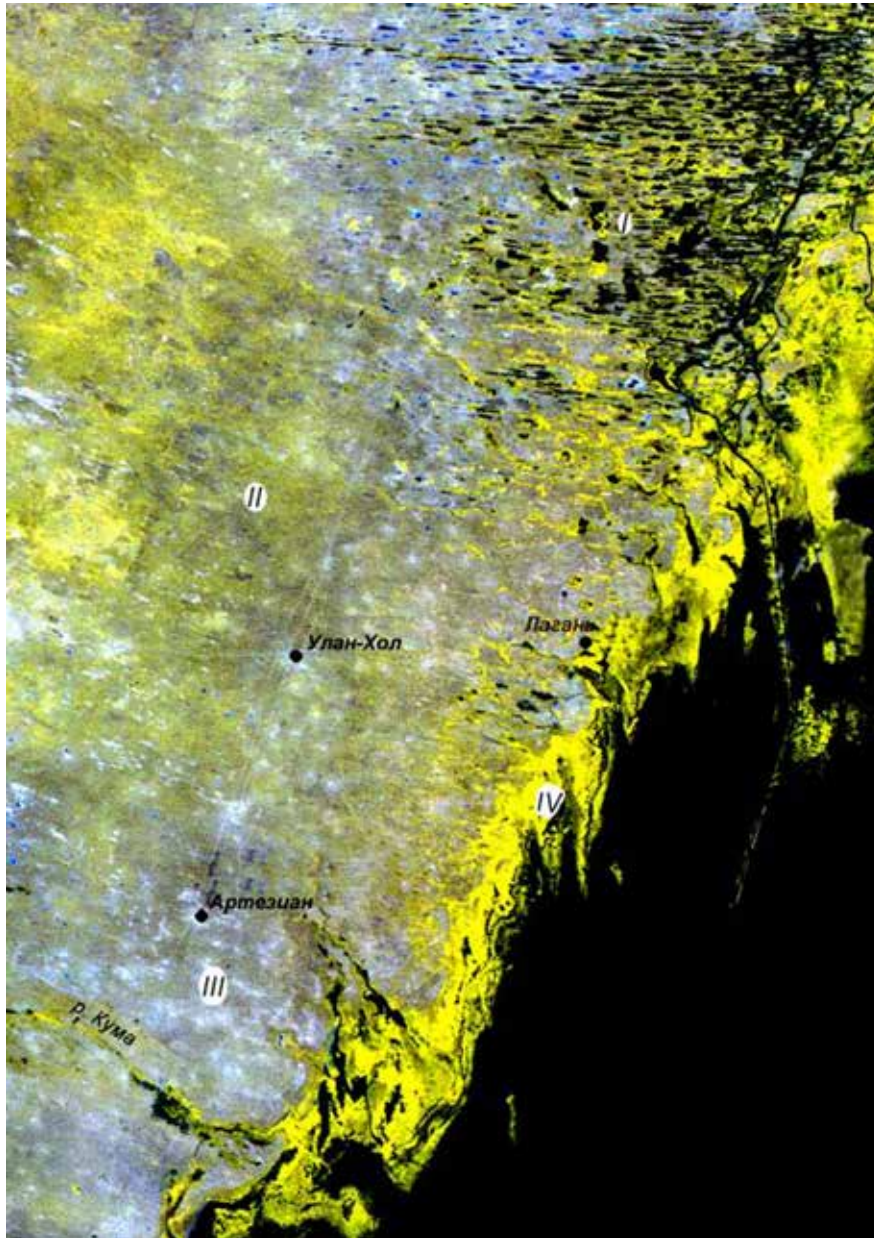


Рис. 6. Космическое изображение ландшафтов Прикаспийской равнины (I–IV, см. текст). Фрагмент композита космических снимков камерой КАТЭ-200. Использование спектральных зон 500–600 нм, 600–700 нм, 700–850 нм позволило получить изображение плавней вдоль побережья Каспийского моря в виде светлого контура.



Рис. 7. График колебаний уровня Каспийского моря по среднегодовым данным Махачкалинского водомерного поста

ложениях. Характер растительности претерпевает большие изменения: исчезает тростник, возрастает количество галофитов (их участие в сложении растительных сообществ доходит до 30%). Доминанты сообществ: полынь солончаковая (*Artemisia monogyna*), кермек и бескильница (*Puccinellia gigantea*). Появляются пятна солончаков с сарсазанными (*Halocnemum strobilaceum*) кочкарниками.

Фашии верхнего уровня морской террасы от –26,7 до –25,5 м осушились после 1930 г. и представляют собой переходную полосу между первой и второй новокаспийскими террасами. Здесь почвогрунты представлены суглинистыми и супесчаными солончаковыми и солончаковатыми почвами на новокаспийских отложениях. В результате засоления почв сформировалось сообщество солончаковой полыни, эфемеров и однолетних солянок.

С 1978 по 1994 г. наблюдался положительный водный баланс, уровень моря повысился до отметки –26,5 м. С 1994 г. по настоящее время уровень моря стабилизировался, испытывая колебания в пределах 0,5 м. В период трансгрессии во время нагонных явлений уровень моря катастрофически повышается. Обычно это случается в зимнее время под влиянием сильных ветров южного направления. В наиболее катастрофических случаях вода поднимается на 3,0–4,5 м и в связи с плоским рельефом приморской равнины проникает в глубь прибрежной территории на 30–50 км (рис. 8). В период низкого стояния уровня моря, как было отмечено выше, вдоль побережья Северо-Западного Прикаспия сформировалась широкая полоса тростниковых плавней. Повышение уровня моря привело к их глубокой трансформации.



Рис. 8. Сценарии затопления побережья в результате новейшей трансгрессии Каспийского моря

К востоку от г. Лагань в 1983 г. галофитные пырейно-кермековые, ажрековые, ситниковые сообщества сменялись в сторону моря галолигдролитным кермекково-лисохвостовым сообществом с тамариксом, затем располагались гликолитные болотистые разнотравно-тростниковые луга с *Polygonum amphibium*, *Lythrum salicaria*, *Carex acuta*, которые со стороны моря окаймлялись тростниково-рогозовыми плавнями. В последующие годы в процессе трансгрессии плавни стали продвигаться в сторону суши, при этом их внешняя кайма разрушалась, а галофитные сообщества оттеснялись еще дальше от моря.

Космический мониторинг позволяет проследить динамику проективного покрытия тростниковых плавней путем сравнения космических снимков за 1978 и 2010 г. (рис. 9). Выделение двух уровней проективного покрытия тростника выполнено методом разделения изображения плавней по его интенсивности в программе ArcGIS 9.3.

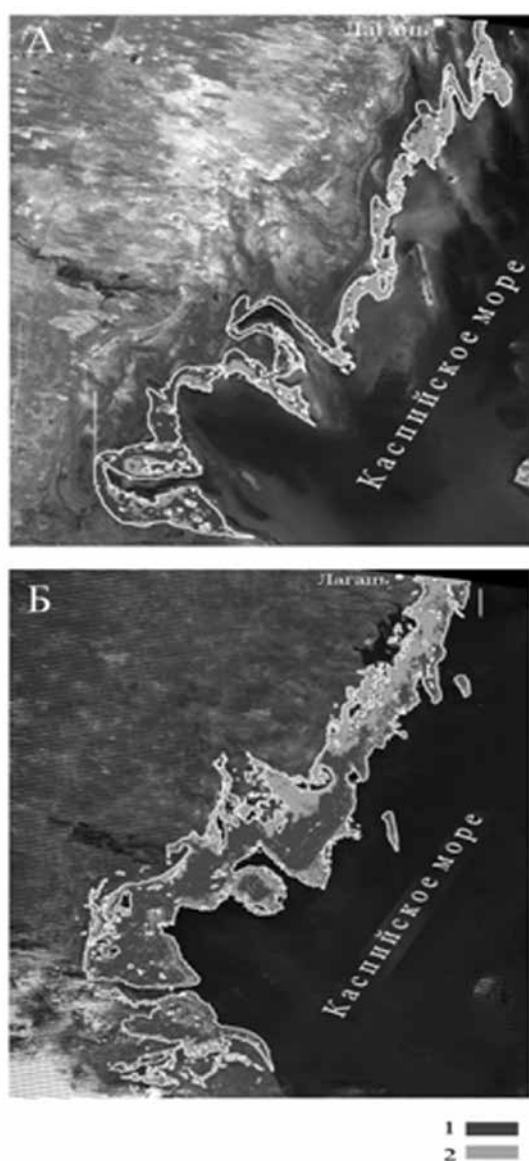


Рис. 9. Динамика проективного покрытия плавней на побережье Каспийского моря по данным КС Landsat. Изображения плавней наложены на КС: А – 1978 г., Б – 2010 г. Условные обозначения: 1 – максимальное проективное покрытие; 2 – минимальное проективное покрытие

Анализ динамики площадей максимального и минимального проективного покрытия тростниковых плавней приведен в таблице.

Приведенные материалы показывают, что при быстром повышении уровня Каспийского моря и разрушении внешней каймы тростниковых плавней к 2010 г. относительные площади с максимальным по-

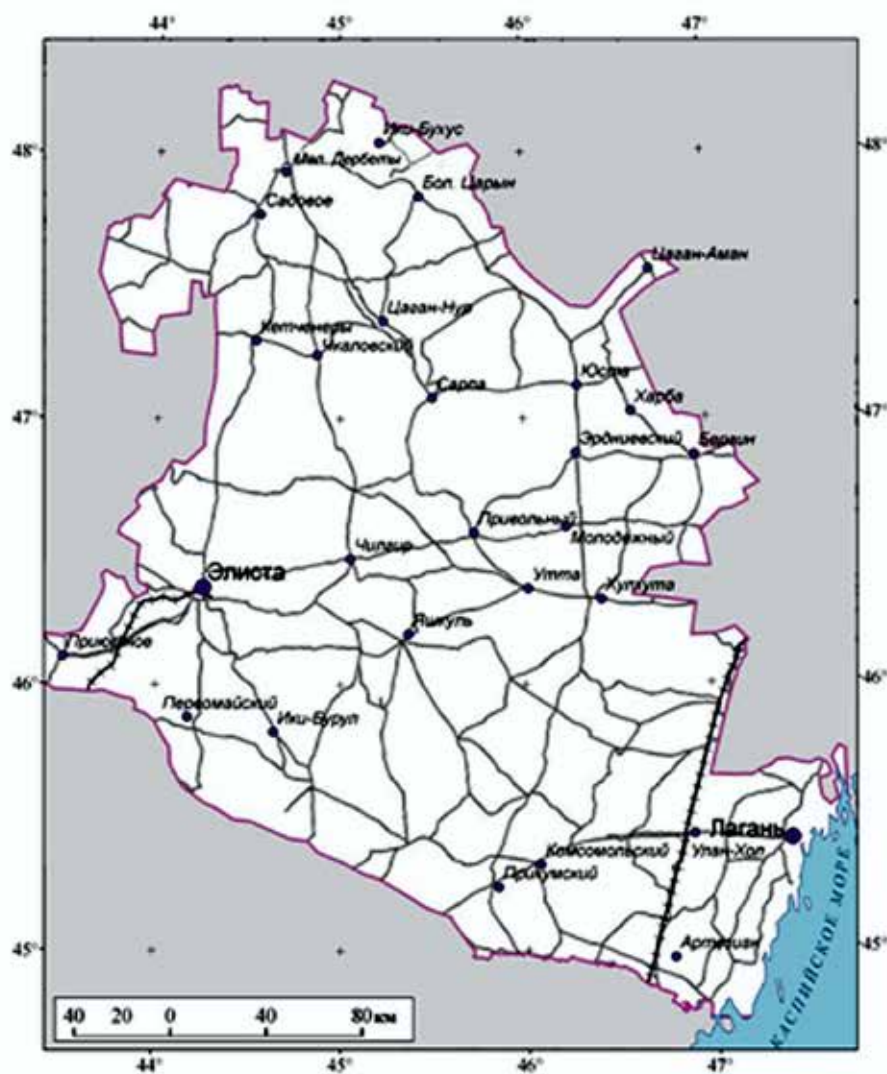
крытием уменьшились, а с минимальным покрытием – увеличились.

2.5. Транспортная сеть и населенные пункты

Транспортная сеть – необходимое условие социально-экономического развития Республики Калмыкия. Однако строительство и эксплуатация дорог

Динамика проективного покрытия тростниковых плавней за 1978, 1995 и 2010 гг., %

| | Годы | | |
|--|------|------|------|
| | 1978 | 1995 | 2010 |
| Изменение площади плавней относительно максимальной площади плавней в 1995 г. принятой за 100% (за период 1978–2010 гг.) | 14,6 | 100 | 65,4 |
| Площадь с максимальным проективным покрытием тростника относительно общей площади зарослей данного года, принимаемой за 100% | 53,3 | 54,3 | 42,6 |
| Площадь с минимальным проективным покрытием тростника относительно общей площади зарослей данного года, принимаемой за 100% | 46,7 | 45,7 | 57,4 |



Дорожная сеть
 — Железные дороги
 — Автомобильные дороги

Города и населенные пункты
 Мал. Дербеты ● до 10000 человек
 Элиста ● более 10000 человек

Рис. 10. Транспортная сеть и населенные пункты

сопровождается серьезными отрицательными экологическими последствиями. На легких супесчаных и песчаных почвогрунтах уничтожение придорожной растительности идет исключительно быстро. Лишенные растительной дернины пески развеваются ветром. Обезд опасных участков ведет к расширению язв дефляции. Постоянные и необустроенные грунтовые дороги особенно четко просматриваются

на космических снимках там, где они проходят через равнину, сложенную песками.

Развитие дорожной сети на солонцах и солончаках ведет к перемешиванию засоленного грунта. В таких местах придорожной полосе сопутствуют галофитные ассоциации шведки, солероса, биюргуна и тамарикса.

Транспортная сеть может нарушать естественные процессы поверхностного стока, это приводит после

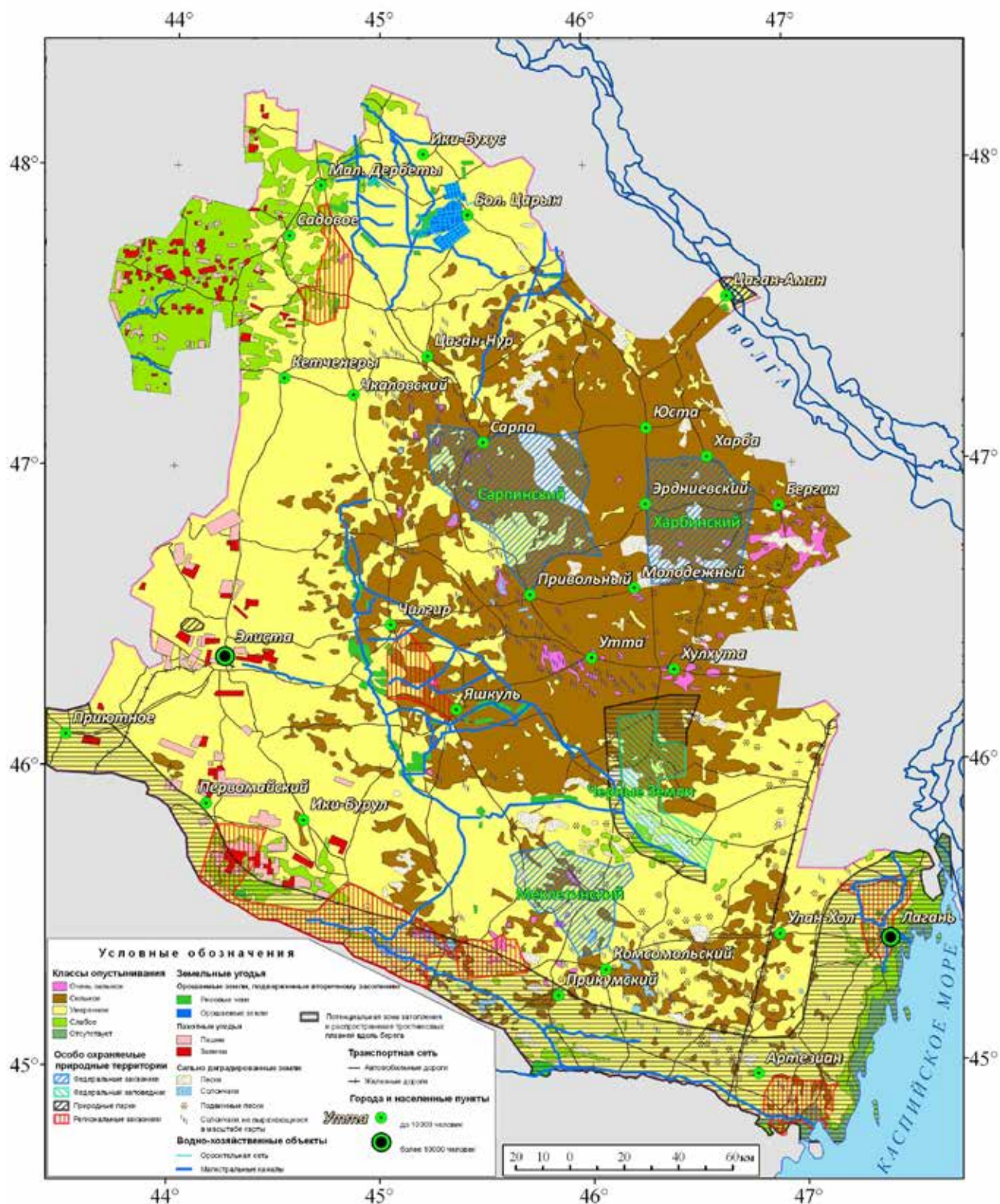


Рис. 11. Карта экологической дестабилизации ландшафтов Северо-Западного Прикаспия, 2013 г.

сильных дождей к подтоплению придорожной полосы. Так, сеть дорожных насыпей высотой 0,5–0,7 м, лишённых водостоков, может вызвать подтопление значительных территорий между населёнными пунктами.

Урбанизация Республики Калмыкия сопровождается ростом городского населения за счёт притока жителей из сельских районов и развитием селитебной инфраструктуры (рис. 10). Наряду с этим в сельской местности сохраняются небольшие населённые пункты. Вокруг последних процессы опустынивания наиболее часто развиваются. Это происходит в результате неконтролируемого выпаса скота местным населением.

2.6. Концепция создания карты процессов экологической дестабилизации ландшафтов Северо-Западного Прикаспия

Для составления карты обосновывается следующая система растровых и векторных слоев, отображающих картографируемые объекты: классы опустынивания, особо охраняемые природные территории, земельные угодья (пашни и залежи), водно-хозяйственные объекты (магистральные каналы, оросительная сеть, рисовые чеки), потенциальная зона затопления Каспийским морем и распространения тростниковых плавней, транспортная сеть, города и населённые пункты (рис. 11).

Процессы экологической дестабилизации ландшафтов Северо-Запада Прикаспия меняются в зависимости от усиления или ослабления антропогенной нагрузки, а также в связи с изменением климата – сменой аридных и гумидных циклов. Все это требует систематического обновления такой карты. Благодаря использованной послойной архитектуре представления картографической информации в виде растровых и векторных слоев в ГИС процесс актуализации карты может осуществляться достаточно быстро.

Выводы

1. Опустынивание, деградация земель в засушливых районах в результате аридизации климата и увеличения антропогенной нагрузки относится к числу глобальных экологических проблем.

2. Основными причинами опустынивания служат фазы флуктуации климата, направленные в сторону аридизации, а также возрастающая хозяйственная деятельность человека.

3. Важными критериями, раскрывающими характер и интенсивность опустынивания, являются уменьшение проективного покрытия, продуктивности и биоразнообразия растительности, смыв и выдувание плодородного слоя почв, их засоление, водная и ветровая эрозия, развевание песчаных толщ и формирование подвижных форм эолового рельефа.

4. Рискам опустынивания в России особенно подвержены ландшафты Северо-Западного Прикаспия, что требует постоянного наблюдения за их состоянием. Для определения неблагоприятных изменений природной среды рекомендуется осуществлять космический мониторинг деградации растительности, состояния земельных угодий и оросительных систем, колебаний уровня Каспийского моря, развития транспортной сети, городов и населённых пунктов.

5. Результаты мониторинга наносятся на карту с помощью условных знаков, отражающих наблюдаемые объекты в растровой и векторной формах. Аридные ландшафты характеризуются высокой изменчивостью под воздействием естественных и антропогенных факторов. Применение ГИС-технологий позволяет осуществлять оперативное обновление карт опустынивания.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ № 14-05-00.

Литература

Список русскоязычной литературы

1. Бананова ВА, Разумов ВВ, Притворов ВГ, Лазарева ВГ, Глушко АЯ. Картографическое отображение процессов опустынивания земель юга России. Геодезия и картография. 2007;(10):36-41.

2. Борликов ГМ, Харин НГ, Бананова ВА, Татеиши Р. Опустынивание засушливых земель Прикаспийского региона. Ростов-на-Дону: Изд-во СКНЦ ВШ; 2000.

3. Виноградов БВ, Кулик КН, Сорокин АД, Федотов ПБ. Изодинамическое картографирование и долговременный мониторинг опустынивания и деградации земель с применением нелинейных методов моделирования. Почвоведение. 1999;(4):494-504.

4. Глазовский НФ, Орловский НС. Проблемы опустынивания и засух в СНГ и пути их решения. Известия РАН Сер геогр. 1996;(4):7-23.

5. Джапова РР, Бембеева ОГ, Аюшева ЕЧ. Динамика растительного покрова в подзоне южных степей на территории Республики Калмыкия. В кн.: Степи Северной Евразии. Материалы VI международного симпозиума и VIII международной школы-семинара «Геоэкологические проблемы степных регионов». Оренбург: ИПК «Газпромпечат» ООО «Оренбурггазпромсервис»; 2012. с. 222-5.

6. Золотокрылин АН, Виноградова ВВ, Черенкова ЕА. Динамика засух в Европейской России в ситуации глобального потепления. Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем; 2007; 21:160-82.

7. Мирошниченко ЮМ. Роль изучения сукцессий в восстановлении степного типа растительности на месте «пустынного». В кн.: Проблемы природопользования и сохранения биоразнообразия в условиях опу-

стынивания: Материалы Межрегиональной научно-практической конференции 18–20 сент. 2000 г. Волгоград; 2000. с. 72-4.

8. Мирошниченко ЮМ, Мирошниченко НВ. Смены почвенно-растительного покрова в приморской полосе Северо-Западного Прикаспия. Бот журн. 1966;51:520-41.

9. Новикова НМ, Волкова НА, Хитров НБ. Растительность солонцового комплекса заповедного степного участка в Северном Прикаспии. Аридные экосистемы. 2004;10(22-23):9-17.

10. Опустынивание засушливых земель России: новые аспекты анализа, результаты, проблемы. М.: Товарищество научных изданий КМК; 2009.

11. Оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. В кн.: Изменения природных и хозяйственных систем в XX в. Том II. Последствия изменения климата. М.: Росгидромет; 2008. с.101-24.

12. Сотнева НИ. Динамика климатических условий второй половины XX в. района Джаныбекского стационара Северного Прикаспия. Известия РАН Сер геогр. 2005. (5):74-83.

13. Титкова ТБ. Изменения климата полупустынь Прикаспия и Тургая в XX в. Известия РАН Сер геогр. 2003.(1):106-11.

14. Цаценкин ИА. Опыт комплексного геоботанического и почвенного картирования пастбищ и сенокосов в районах Прикаспия с использованием аэрофотоснимков. Бот журн. 1952;37:366-72.

15. Шилова СА, Чабовский АВ, Неронов ВВ. Закономерности динамики полупустынных экосистем Калмыкии при снятии антропогенного пресса. Чтения памяти В.Н. Сукачева. XIX. В кн.: Экологические процессы в аридных биогеоценозах. Доклады на XIX ежегодных чтениях памяти академика В.Н. Сукачева 22 ноября 2000 г. М.; 2001, с. 9-55.

Общий список литературы/Reference List

1. Bananova VA, Razumov VV, Pritvorov VG, Lazareva VG, Glushko, AYа. [Mapping of desertification of land in the South of Russia]. Geodeziya i Kartografiya. 2007;(10):36-41. (In Russ.)

2. Borlikov GM, Kharin NG, Bananova VA, Tateishi R. [Desertification of the drylands of Caspian Region]. Rostov-on-Don: SKNTs VSh; 2000. (In Russ.)

3. Vinogradov BV, Kulik KN, Sorokin AD, Fedotov PB. [Isodynamic mapping and long-term monitoring of desertification and land degradation using nonlinear modelling methods]. Pochvovedeniye. 1999;(4):494-504. (In Russ.)

4. Glazovskiy NF, Orlovskiy NS. [The problems of desertification and drought in CIS countries and the ways to solve them]. Izvestiya RAN Seriya Geograficheskaya. 1996;(4):7-23. (In Russ.)

5. Dzhapova RR, Bembejeva OG, Aushva YeCh. [Dynamics of vegetation in the sub-

zone of the southern steppes in the Republic of Kalmykia]. In: Stepi Severnoy Yevrazi. [Steppes of Northern Eurasia]. Proc VI Int Symp VIII Int School-Seminar "Geoekologicheskkiye Problemy Stepnykh Regionov" [Geo-Environmental Problems of Steppe Regions]. Orenburg: IPK "Gazprompechat" OOO "Orenburggazpromservis"; 2012. p. 222-5. (In Russ.)

6. Zolotokrylin AN, Vinogradova VV, Cherenkova EA. [The dynamics of droughts in European Russia under global warming]. Problemy Ekologicheskogo Monitoringa i Modelirovaniya Ekosistem. 21:160-82. (In Russ.)

7. Miroshnichenko YuM. [The role of studying of successions in the restoration of steppe type vegetation instead of desert type]. In: Problemy Prirodopolzovaniya i Sokhraneniya Bioraznoobraziya v Usloviyakh Opustynivaniya. Volgograd; 2000. p. 72-4. (In Russ.)

8. Miroshnichenko YuM, Miroshnichenko NV. [The changes of soil and vegetation cover in the coastal strip of the North-Western Caspian]. Bot Zhurn. 1966;51:520-41. (In Russ.)

9. Novikova NM, Volkova NA, Khitrov NB. [The vegetation of solonetz complex of the reserved steppe area in the North Caspian]. Arid ecosystems. 2004;10(22-23):9-17. (In Russ.)

10. Opustynivaniye Zasuшлиvykh Zemel Rossii: Novye Aspekty Analiza, Rezultaty, Problemy. [Desertification of Arid Lands in Russia: New Aspects of Analysis, Results, and Problems]. М.: КМК; 2009. (In Russ.)

11. [Evaluation report on climate changes and their consequences in the territory of the Russian Federation]. In: Izmeneniya Prirodnykh i Khoziaystvennykh Sistem v XX Veke Tom 2 Posledstviya Izmeniya Klimata. [Changes in Natural and Economic Systems in the XX Century. Volume II. The Consequences of Climate Change]. Moscow Rosgidromet; 2008. p. 101-24. (In Russ.)

12. Sotneva NI. [Dynamics of climatic conditions in the second half of the twentieth century the area at the Dzhanybek research station of the Northern Caspian]. Izvestiya RAN Seriya Geograficheskaya. 2005.(5):74-83. (In Russ.)

13. Titkova TB. [Climate change of semi-deserts of the Caspian and Turgai in the twentieth century]. Izvestiya RAN Seriya Geograficheskaya. 2003.(1):106-11. (In Russ.)

14. Tsatsenkin IA. [Experience of integrated geobotanical and soil mapping of pastures and hayfields in Caspian depression using aerial photography]. Bot Zhurn. 1952;37:366-72. (In Russ.)

15. Shilova SA, Chabovskiy AV, Neronov VV. [Regularities in the dynamics of semi-arid ecosystems of Kalmykia upon the removal of anthropogenic pressure. Readings in the memory of V.N. Sukachev. XIX]. In: Ekologicheskkiye Protsessy v Aridnykh Biogenosozakh. [Ecological Processes in Arid Ecosystems. Proceedings of the Nineteenth Annual Readings in the Memory of Academician V.N. Sukachev. 22 November 2000]. М.; 2001, p. 9-55. (In Russ.)

16. Lee C, Schaaf Th. *The Future of Drylands*. Springer; 2006.
17. Ci L, Yang X. *Desertification and Its Control in China*. Springer; 2010.
18. Mannava VK, Sivakumar NN, eds. *Climate and Land Degradation*. Springer; 2007. 623 p.
19. Heshmati GA, Squires VR. *Combating Desertification in Asia, Africa and the Middle East. Proven Practices*. Springer; 2013.
20. Kepner WG, Rubio JL, Mouat DA, Pedrazzini F. *Desertification in the Mediterranean Region*. Springer; 2003.
21. Kharin N, Tateishi R, Harahsheh H. *Degradation of the Drylands of Asia*. Chiba: Center for Environmental Remote Sensing University; 1999.
22. Zdruli P, Pagliai M, Kapur S, Faz Cano A eds. *Land Degradation and Desertification: Assessment, Mitigation and Remediation*. Springer; 2010. 660 p.
23. Marini A, Talbi M. *Desertification and Risk Analysis Using High and Medium Resolution Satellite Data. Training Workshop on Mapping Desertification*. Springer; 2006.
24. Arnalds O, Archer S, eds. *Rangeland Desertification*. Springer; 2000. 209 p.
25. Tucker CG, Vanpraet CL, Sharman MJ, Van Ittersum G. *Satellite remote sensing of total herbaceous biomass production in the Senegalese Sahel: 1980–1984*. *Remote Sens Environ.* 1985;17: 233-49.

