Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. Геогр. 2023. Т. 78. № 6. С. 15–26

УДК 911.2, 911.9

ЛАНДШАФТНО-ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ ПОТЕНЦИАЛ ПУСТЫРЕЙ ГОРОДА АСТРАХАНИ

А.С. Тихонов[1], **Т.И. Харитонова**[2]

[1, 2] *Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет, кафедра физической географии и ландшафтоведения*

[1] *Аспирант; e-mail: alexandrtihonov055@gmail.com*
[2] *Доц., канд. геогр. наук; e-mail: kharito2010@gmail.com*

В статье приводится мультикритериальная оценка ландшафтно-экологического потенциала пустырей города Астрахани. Под пустырями понимаются незастроенные и не используемые территории, не отнесенные действующим генпланом к зеленым зонам города. Целью исследования является выявление наиболее ценных неиспользуемых территорий, сохранение и благоустройство которых поможет в перспективе улучшить качество и привлекательность городской среды, наименее ценные при этом могут быть рекомендованы для использования в городском хозяйстве. В работе оцениваются четыре ландшафтные функции, отвечающие главным проблемам города: 1) функция регулирования стока оценивается на основе морфометрического анализа каналов стока и полевых данных об эрозии и заболачивании; 2) климаторегулирующая функция оценивается исходя из расчета охлаждающей способности пустыря с помощью модели InVest; 3) рекреационная функция оценивается на основе полевых и дистанционных данных о состоянии растительного покрова пустыря и запроса на рекреационные зоны из расчета пешеходного пути до ближайшего парка; 4) функция регулирования загрязнения воздуха оценивается на основе данных об экологически обусловленной детской заболеваемости и плотности зеленых насаждений в районах города. Исходя из интегральной оценки, предложен приоритетный тип использования пустырей. Ландшафтно-экологический потенциал пустырей Астрахани заметно отличается в разных районах. Высокие оценки получили пустыри северо-восточной окраины города, расположенной в пределах пониженной части дельты Волги, наименьшие – пустыри небольших размеров в центре города и в промышленной зоне на востоке. В итоге к благоустройству было рекомендовано 2570 га территории, а к застройке – 327,9 га.

Ключевые слова: городские ландшафты, ландшафтно-экологические функции, дистанционное зондирование, рекреационный потенциал, городской остров тепла, регулирование стока, регулирование загрязнения

DOI: 10.55959/MSU0579-9414.5.78.6.2

ВВЕДЕНИЕ

Трансформация способов промышленного производства и внедрение информационных технологий необратимо меняют социальную роль городов и размывают специализацию, поэтому их экономическое благосостояние все больше определяется степенью развития досуговой и культурной инфраструктуры и комфортностью городской среды.

Если рассматривать ландшафтно-географическую составляющую комфортной среды, то она включает безопасность от стихийных природных процессов, благоприятный климат, качественные воздух, воду и почвы, пешеходную близость парков и других открытых мест отдыха, эстетическую и экологическую привлекательность городских кварталов, которая повышается за счет озеленения. Все перечисленные характеристики зависят от структуры и функционирования городских ландшафтов, их способности при определенной мозаике застроенных и незастроенных территорий поддерживать средостабилизирующие природные процессы и противостоять деструктивным. Вопрос формирования комфортной городской среды сводится во многом к нахождению оптимальной структуры застройки и сохранению незастроенными наиболее ценных ландшафтов, выполняющих спектр поддерживающих, регулирующих и культурных функций [DeGroot et al., 2002]. К настоящему моменту наработана обширная методическая база по исследованию ландшафтных сопряжений на урбанизированной территории, оценке экосистемных услуг и функций городских зеленых пространств, поиску их оптимальных размеров и сочетаний [Климанова и др., 2020; Hamstead et al., 2016; Forman, 2014], но эти наработки крайне редко принимаются во внимание в российской практике городского проектирования.

При сохранении границ городов перспективным земельным ресурсом для нового строительства

в городской черте являются незастроенные участки разных размеров и разного функционального назначения, не имеющие статуса зеленых насаждений согласно генплану [Forman, 2014]. С одной стороны, эти участки являются неформально существующими или перспективными элементами экологического каркаса, с другой – потенциально являются криминально и экологически опасными местами, на которых образуются стихийные свалки, растет численность нежелательных синантропных организмов. Очевидно, что для городского планирования необходима инвентаризация всех незастроенных земель и их комплексная ландшафтно-экологическая оценка, которая позволит выделить территории, способные регулировать природные процессы и создавать комфортную природную среду, и территории менее ценные, но пригодные для застройки.

Сравнительная оценка ландшафтно-экологического потенциала незастроенных городских земель попала в фокус ландшафтной экологии не так давно, хотя публикаций с примерами социально-экологической и экономической оценки и благоустройства отдельных пустырей достаточно много [Evans, 2007; Heckert, Mennis, 2012]. В последнее десятилетие стремительное развитие методического инструментария оценки экосистемных услуг городских территорий позволило проводить сравнение десятков и даже сотен неиспользуемых земельных участков [McPhearson et al., 2013] и давать рекомендации для их приоритетной застройки и благоустройства [Schetke et al., 2012]. В своем большинстве сравнительная оценка ведется путем анализа и классификации космических снимков высокого разрешения и интерпретации свойств и площадей выделяемых классов ландшафтного покрова – много-, средне- и малоэтажной застройки, заасфальтированной поверхности, открытой почвы, травяной, кустарниковой и древесной растительности, воды. С помощью индексов, разработанных для природных условий изучаемой территории, классы ландшафтного покрова переводятся в их способность выполнять требуемые в городе функции: снижать летние температуры, осаждать пыль, улавливать газы, фильтровать поверхностный сток, поддерживать биологическое разнообразие и др.

Ценность выполняемой функции повышается с ростом на нее социального и экологического спроса. Так, рекреационная функция пустырей становится крайне важной в плотно застроенных кварталах, мало обеспеченных зеленой инфраструктурой, а значение стокорегулирующей функции одного и того же типа древесных насаждений растет с крутизной эрозионно-опасных склонов [Харитонова и др., 2018].

Понятие «пустырь» объединяет в себе различные типы в настоящее время неиспользуемых земель: заброшенные территории с некоторой долей искусственного покрытия и, возможно, загрязнения от предыдущей деятельности; лоскуты нарушенных природных ландшафтов вокруг новостроек; земли с определенными природными ограничениями для строительства; удаленные от коммунальной инфраструктуры участки, не нашедшие себе застройщика. Когда мы говорим о городских пустырях и неиспользуемых землях, мы должны представлять причины, по которым они исключены из городских потоков, так как от этого во многом зависит их ландшафтно-экологический потенциал. Способность территории выполнять регулирующие и культурные функции связана, как было показано, с мозаикой ландшафтного покрова. В городе ландшафтный покров – это довольно гибкая, быстро меняющаяся характеристика, поэтому оценка ландшафтно-экологического потенциала пустырей должна опираться на различные сценарии их возможного использования и, соответственно, изменения ландшафтной мозаики.

Цель данного исследования – оценка ландшафтно-экологического потенциала пустырей города Астрахани и составление рекомендаций по их дальнейшему использованию. Алгоритм оценки следующий: 1) выявление экологических и социальных проблем города, которые могут быть решены ландшафтно-планировочными методами; 2) определение набора ландшафтных функций, которые в связи с выявленными проблемами должны быть оценены; 3) инвентаризация городских незастроенных земель, не имеющих статуса зеленых зон и не предназначенных к застройке в ближайшем будущем; 4) сбор полевых, фондовых и дистанционных материалов; 5) мультикритериальная оценка и разработка рекомендаций для рационального встраивания неиспользуемых земель в структуру города – застройка устойчивых и экологически безопасных территорий, обладающих низкой совокупной экологической ценностью; сохранение и благоустройство участков, обладающих максимальным потенциалом для выполнения регулирующих и рекреационных функций; санация малоценных, загрязненных и экологически нарушенных территорий.

Объект исследования. Астрахань, единственный в России крупный город пустынной зоны, расположен в 100 км от Каспийского побережья, имеет протяженность вдоль основного русла Волги 30 км. Город построен на дельтовой равнине, на абсолютных высотах от –27 до –15 м и геоморфологически связан с Прикаспийской низменностью. Старая часть города находится на левобережье Волги, в центральной части дельты, для которой характерен рисунок из плоских участков аллювиальных равнин, возвышенных бэровских бугров и межбугровых понижений,

пересеченных многочисленными водотоками. К северу присутствие бэровских бугров в дельте снижается, снижается и площадь относительно дренированных территорий, пригодных для застройки, а в ландшафтной структуре увеличивается доля проток, озер и ериков. Правобережная часть Астрахани относится к ильменно-бугровой равнине, хорошо распознаваемой по регулярному рисунку вытянутых с запада на восток бэровских бугров и межбугровых понижений, занятых ильменями и ериками, соединенных протоками с руслом Волги. Северо-западные кварталы города заходят в местность приволжских песков [Занозин, Худаева, 2016]. Сильно минерализованные грунтовые воды находятся на глубине 1,5–2 м, их уровень зависит от гидрологического режима Волги и колебаний уровня Каспийского моря. Во время половодий нередко происходит смыкание поверхностных и грунтовых вод и подтопление пониженных районов города. Нивелирование рельефа, застройка и асфальтирование поверхности, утечка воды из подземной канализации приводят к дополнительному заболачиванию и подтоплению территории [Никулин, 2009]. Регулирование поверхностного стока является важнейшей проблемой города.

Климат Астрахани – умеренно-континентальный. Средняя температура июля 25,6°С, а температура самого холодного месяца, февраля, –3,7°С. При среднегодовой норме осадков 233 мм дефицит атмосферного увлажнения составляет более 500 мм. Данные глобального мониторинга городского климата [Earth Engine Apps, 2022] свидетельствуют об отсутствии острова тепла в дневное время и о незначительном превышении температур над пригородом ночью, что является типичной ситуацией для городов аридной зоны. Но, учитывая общий зональный уровень теплового дискомфорта Астрахани и увеличение частоты температурных экстремумов выше +35°С в летний сезон, регулирование климата является серьезной задачей городского планирования.

Климатические и гидрогеологические условия накладывают ограничение на развитие древесной растительности и определяют формирование на территории города преимущественно аридных, галоморфных и гидроморфных природных комплексов. Зеленые территории представлены преимущественно пойменными влажными и сезонно затапливаемыми лугами и ивово-тополевыми лесами на островах и низких поймах.

Физико-географические и климатические условия обусловливают частую повторяемость приземных инверсий, что становится причиной высокого потенциала загрязнения воздушной среды в городе, причем не только за счет аккумуляции загрязнителей от местных источников, но и за счет трансграничного переноса [Коломин и др., 2015].

Анализ природных условий территории обусловил приоритетность следующих ландшафтных функций при оценке ландшафтно-экологического потенциала пустырей Астрахани: 1) стокорегулирующей; 2) климаторегулирующей; 3) рекреационной и 4) функции регулирования загрязнения.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Инвентаризация незастроенных земель Астрахани. Пустыри были выделены и оцифрованы по снимкам высокого разрешения «Яндекс» и Bing. Участок относился к неиспользуемым при отсутствии застройки или объектов транспортной, рекреационной и иной инфраструктуры, ожидаемой согласно назначению данной территории по карте функционального зонирования МО «Город Астрахань», а также не имел статуса зеленой зоны города [Генеральный план…, 2020]. Полевое обследование отобранных участков включало описание рельефа, поверхностных отложений, растительности, экзогенных процессов, современного использования и замусоренности территории, доли и характера искусственного покрытия, ландшафтного соседства.

Данные многоспектральной космической съемки. На основе разносезонных (февраль–октябрь 2020 г.) снимков Sentinel-2 в программе QGIS 3.8 проведена классификация ландшафтного покрова. Выделено семь классов: водные объекты, солончаки, древесная растительность, травяная растительность, застроенные поверхности, открытый грунт, включая пустынную разреженную растительность, и сезонно затапливаемые территории. Верификация классификации по 150 случайным точкам показала итоговую точность в 74,37%. Ошибки связаны со сходными отражающими свойствами бликующих крыш и солончаков, а также мелколиственных пойменных лесов и тростниковых зарослей.

Морфометрический анализ рельефа. Цифровая модель поверхности SRTM [Earth Explorer, 2022] с пространственным разрешением в 1 с дуги эллипсоида, что соответствует на широте Астрахани ячейке приблизительно 21,5 ´ 31 м, была скорректирована по топографической карте ГНЦ масштабом 1 : 25 000 таким образом, чтобы убрать «выбросы» рельефа, связанные с застройкой и древесными насаждениями. На основе скорректированной модели рельефа в программе SagaGIS смоделированы линии каналов поверхностного стока.

Моделирование охлаждающей способности пустырей. Для расчета способности пустырей снижать температуру в окрестности 500 м использовалась модель InVest 3.9.0. Urban Cooling [InVest…, 2021]. Модель рассчитывает охлаждающий эффект для каждого участка, опираясь на данные о затененности, альбедо и испаряемости земной по-

верхности [Bartesaghi et al., 2018]. Теневой эффект в городе дают (с разным весовым коэффициентом) деревья и здания, доля их площади на территории каждого пустыря определена по созданной карте классов ландшафтного покрова. Средние значения альбедо для каждого класса ландшафтного покрова вычислены для самого жаркого месяца по снимку Landsat-8 по принятой методике [Liang, 2010]. Индекс испаряемости рассчитан на основании региональных значений испаряемости [Касимов и др., 2016], скорректированных с учетом рельефа и испаряющей способности разных классов ландшафтного покрова.

Моделирование проведено для трех состояний исследуемых участков – современного, застроенного и озелененного. В оценке использовалась величина разности охлаждающей способности пустыря в современном и в застроенном состоянии, так как озеленение территории является крайне желательным, но трудно достижимым в природных условиях Астрахани.

Расчет пешеходной доступности зеленых зон города. На основе векторных данных уличной сети Астрахани [OpenStreetMap, 2022] в программе GRASS GIS 7.4.5 были рассчитаны расстояния от жилых кварталов до ближайших парков и скверов. Расстояния были переведены во время пешеходного пути, и для всего города построена карта с изохронами пешеходной доступности. Полученные данные в последующем анализе рассматриваются не как объективная необходимость именно прохождения данного пути, а как индикатор обеспеченности зелеными насаждениями жилых кварталов города.

Статистические данные. В качестве косвенного показателя уровня загрязнения окружающей среды использованы статистические данные по детской заболеваемости. Показатели здоровья горожан широко применяются при оценке загрязнения атмосферы и почвы городов [Крутских, Белашев, 2020], для более точной привязки к району использованы данные только по детскому населению. Данные, предоставленные ГБУЗ АО «Медицинский информационно-аналитический центр» Министерства здравоохранения Астраханской области, охватывают случаи онкологических заболеваний и астмы среди детского населения в возрасте от 0 до 14 лет за 2011–2019 гг. по девяти поликлиникам, обслуживающим четыре района города – Кировский, Ленинский, Советский и Трусовский. В последующем анализе использована средняя заболеваемость по району.

Мультикритериальная оценка. Оценка городов по сумме взвешенных нормализованных индикаторов успешно используется в социально-экономической географии [Землянский и др., 2020], сходная методология применима и для показателей природной среды. Для измерения каждой выбранной функции определен набор индикаторов, которые оценены количественно или качественно, полученные оценки экспертным методом переведены в 10-балльную шкалу. По каждой функции проведено суммирование баллов, набранных пустырями по соответствующим индикаторам, итоговая сумма нормализована по максимально возможной сумме баллов. Таким образом, оценка каждой функции варьирует в интервале от 0 до 1. При анализе и картографировании ландшафтно-экологического потенциала пустырей использована следующая шкала: нормализованная сумма баллов от 0,81 до 1 – очень высокий потенциал; от 0,61 до 0,8 – высокий; от 0,41 до 0,6 – средний; менее 0,4 – низкий.

Оценка функции регулирования стока складывается из двух индикаторов – положения относительно каналов поверхностного стока, рассчитанных по цифровой модели рельефа, и развития экзогенных процессов в пределах пустыря, зафиксированных при полевом обследовании (табл. 1).

Оценка функции регулирования климата проводилась по одному индикатору – разнице в способности пустыря снижать температуру при его современном состоянии и при застройке. Разница вычислялась в градусах Цельсия для каждого пиксела и усреднялась на площадь пустыря. Для учета размеров пустырей и, следовательно, величины их влияния на климат города, были введены весовые коэффициенты, равные логарифму от площади пустыря. Оценочная шкала далее строилась как линейная, где минимальной разнице в температуре соответствовал 1 балл, а максимальной – 10 баллов.

Оценка рекреационной функции выполнялась по двум индикаторам – обеспеченности соседних с пустырем территорий объектами зеленой инфраструктуры, оцениваемой по времени их пешеходной доступности; и современного состояния растительного покрова в пределах самого пустыря – суммарной доли площади древесной и травяной растительности и степени их нарушенности по данным полевого обследования. Чем дальше от существующих парков расположен пустырь, тем выше спрос на новые зеленые территории и тем выше оценивается его потенциал для выполнения рекреационной функции, также потенциал повышается за счет хорошего состояние существующей растительности (см. табл. 1).

Оценка функции регулирования загрязнения основана на двух индикаторах – среднему по району уровню экологически обусловленной детской заболеваемости (онкология и заболевания дыхательных путей) и средней по району площади зеленых насаждений, приходящейся на одного человека. Шкала индикаторов построена по принципу востребо-

ванности зеленых насаждений: чем выше уровень детской заболеваемости и чем ниже норма озеленения, тем выше потенциал пустырей снижать загрязнение в случае их включения в экологический каркас города (см. табл. 1). Так как мы оперируем данными по четырем районам, то нормирование по заболеваемости проведено от 0 до максимального в городе уровня, а нормирование по норме озеленения – от минимального в городе до рекомендованного для аридных зон значения в 21 м^2/чел.

Таблица 1

Шкалы индикаторов

Балл	Индикаторы стокорегулирующей функции		Индикаторы рекреационной функции		Индикаторы функции регулирования загрязнения	
	Положение относительно каналов стока	Экзогенные процессы	Пешая доступность объектов зеленой инфраструктуры, мин	Площадь пустыря, покрытая здоровой растительностью, %	Детская заболеваемость, чел./1000 детей	Норма озеленения в районе, м^2/чел.
10	Несколько каналов начинаются или заканчиваются на пустыре	Длительное затопление и заболачивание	>55	>90	36–40	0,4–2,5
9	Один канал начинается или заканчивается на пустыре		50–55	80–90	32–36	2,5–4,6
8	Через пустырь проходит приток реки первого порядка	Кратковременное затопление	45–50	70–80	28–32	4,6–6,7
7	Через пустырь проходит приток реки второго порядка		40–45	60–70	24–28	6,7–8,8
6	Через пустырь проходит приток реки третьего порядка	Эрозионные борозды	35–40	50–60	20–24	8,8–10,9
5	Через пустырь проходит приток реки четвертого и большего порядка		30–35	40–50	16–20	10,9–13,0
4	Пустырь находится в пределах склона притока реки первого порядка	Эрозионные микроборозды	25–30	30–40	12–16	13,0–15,1
3	Пустырь находится в пределах склона притока реки второго порядка		20–25	20–30	8–12	15,1–17,2
2	Пустырь находится в пределах склона притока реки третьего порядка		15–20	10–20	4–8	17,2–19,3
1	Пустырь находится в пределах склона притока реки четвертого и большего порядка		10–15	1–10	<4	19,3–21
0	Пустырь находится вдали от каналов стока		<10	0	0	>21

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В ходе исследования было выделено 53 пустыря размером от 0,8 до 1038,7 га (рис. 1). В городе различаются три типа пустырей. Самая большая группа по численности и по общей площади расположена на окраинах города и никогда не застраивалась. Эти пустыри возникли как результат изменения границ города. Среди них можно выделить три крупных кластера. Северо-восточный кластер (пустыри 21–31) расположен в пределах северной, наиболее пониженной и обводненной, местности

дельты Волги. Согласно генеральному плану, большая часть неосвоенных земель здесь предназначена под многофункциональное использование, включающее жилую застройку и рекреационные зоны. Под промышленное использование отведено 157 га, или 9%, северо-восточного кластера и дополнительно 240 га, или 15%, кластера – под многофункциональную с участием промышленных, инфраструктурных и транспортных объектов. Юго-западный (пустыри 32–38) и северо-западный (44–45, 48, 50, 52–53) кластеры находятся в пределах Западного ильменно-бугрового ландшафта и административно относятся к Трусовскому району. Земли юго-западного кластера главным образом отведены под жилую застройку, в северо-западном кластере 24% территории отведено под промышленную застройку, остальные пустыри – под жилую застройку, рекреацию и сельское хозяйство.

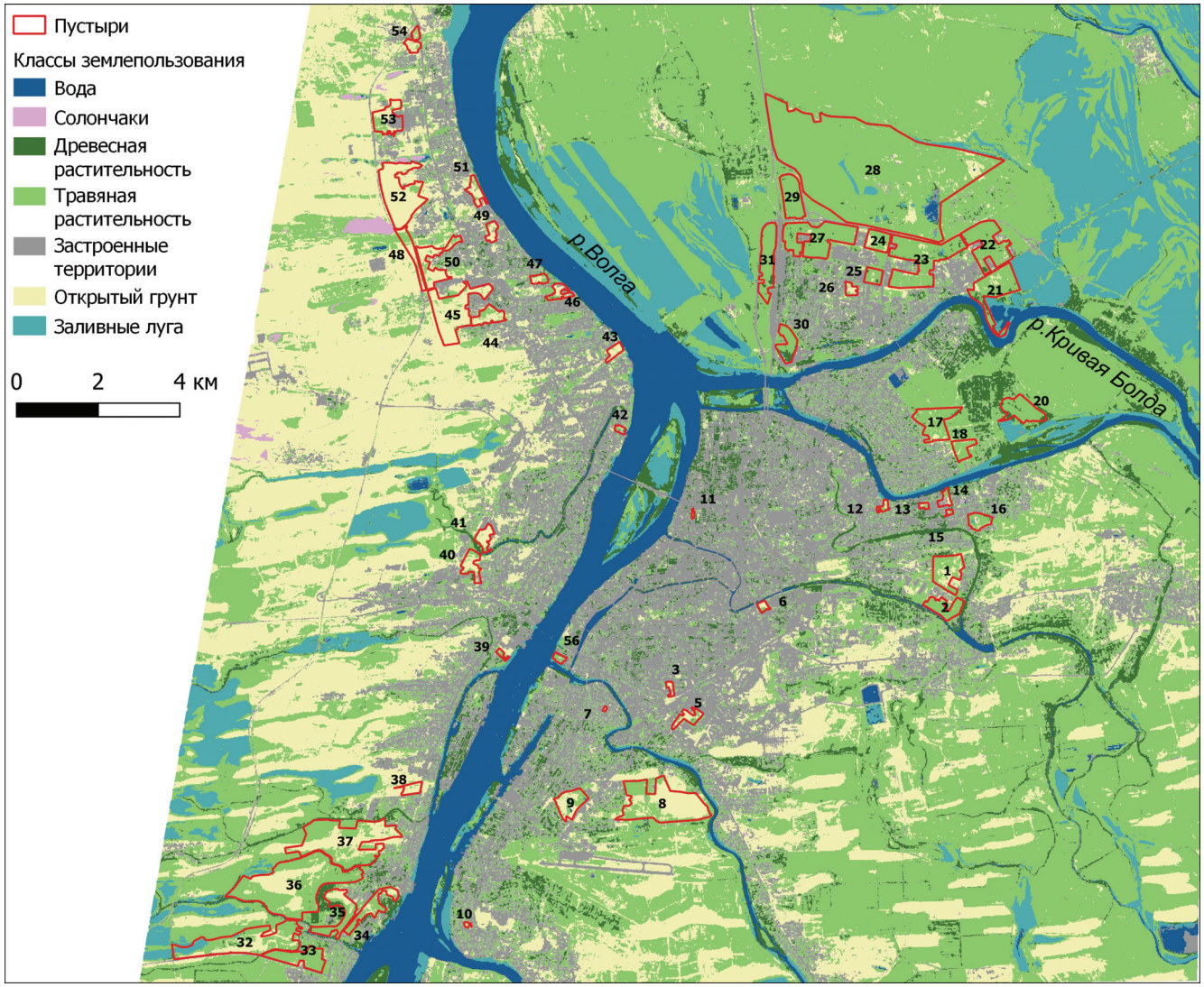

Рис. 1. Исследованные пустыри г. Астрахани

Fig. 1. The studied sites of vacant lands in the city of Astrakhan

Вторая группа пустырей образовалась в промышленных зонах (пустыри 3–5, 12–15, 39, 42, 43, 49, 51), часто на месте снесенных построек. На востоке города они образуют целый кластер. Большая часть этих пустырей, согласно генплану, сохраняют свою принадлежность промышленной зоне, 11 га (11% общей территории) отведены под малоэтажную жилую застройку и рекреацию.

Третья группа пустырей, самая малочисленная и меньшая по площади, представляет собой вкрапления небольших незастроенных участков в плотную жилую застройку (пустыри 6, 7, 11, 46, 47, 56), все они имеют статус жилых зон и только пустырь 47 площадью 8,4 га предназначен под рекреационные цели.

Рассмотрим более подробно результаты оценки на примере двух пустырей, получивших крайне вы-

сокие (пустырь 24) и крайне низкие (пустырь 51) баллы по всем показателям. Эти пустыри сравнимы по площади и согласно генплану одинаково предназначены для промышленного строительства. Пустырь 24 расположен в северной части дельты Волги на низкой обводненной аллювиальной равнине, занятой галофитной пустынно-степной растительностью на гидроморфных засоленных почвах, и в настоящее время преобразован слабо. Пустырь 51 находится на придолинном слабопокатом склоне в пределах ильменно-бугрового ландшафта. Территория пустыря перекрыта техногенными отложениями и частично застроена, но при этом занята относительно густым закустаренным лугом.

Оценка функции регулирования стока. Оценки стокорегулирующей функции пустырей разделились относительно четко: низкие оценки получили пустыри на правобережье Волги, где в рельефе преобладают замкнутые понижения – ильмени, и высокие – на левобережье, в пределах дельтового ландшафта (рис. 2А). Максимальные оценки получили пустыри северо-западного кластера, где каналы стока проходят в относительно глубоких понижениях и нарушение дренажа приводит к усилению процессов заболачивания и засоления почв, которые уже наблюдаются в этой местности. Надо отметить, что наиболее ценные пустыри в этом кластере запланированы под рекреацию, сельское хозяйство и малоэтажную застройку, что не должно сильно нарушить их стокорегулирующие функции.

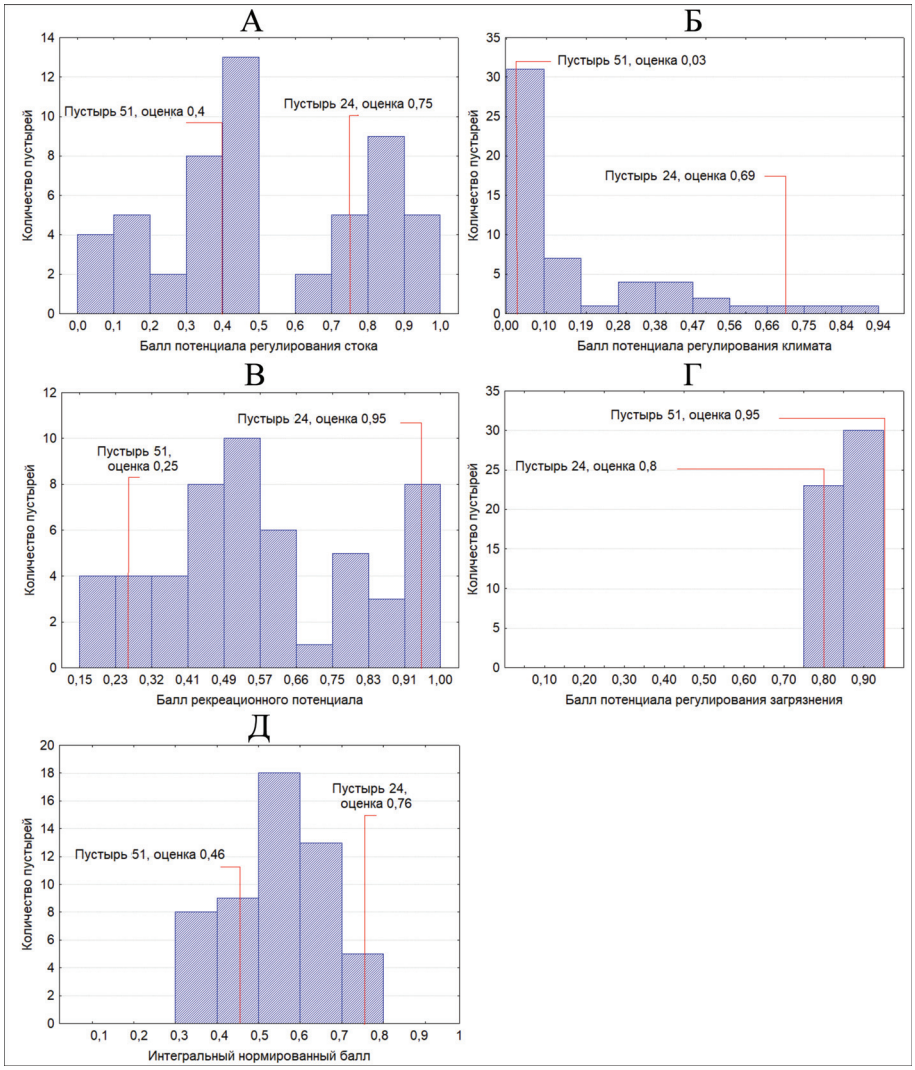

Рис. 2. Распределение оценок ландшафтно-экологических функций и интегрального балла по пустырям:
А – стокорегулирующей функции; Б – функции регулирования климата; В – рекреационной функции; Г – функции регулирования загрязнения; Д – интегральная оценка

Fig. 2. Distribution of assessments of landscape and ecological functions and of the integral score for vacant land sites:
А – runoff retention function; Б – climate regulation function; В – recreational function; Г – pollution retention function; Д – integral assessment

Наименьший вклад в регулирование стока вносят пустыри небольших размеров в центральной части города, где многие речные протоки убраны в подземные коммуникации и не опознаются на местности.

Через всю территорию пустыря 24 протекает два канала стока высокого порядка, дренирующие его болотистую местность. Стокорегулирующая функция пустыря 51 оценивается низким баллом, так как, несмотря на придолинное положение, каналы стока здесь отсутствуют.

Оценка функции регулирования климата. Способность пустыря влиять на климат прилегающей территории, кроме прочих факторов, зависит от его площади, поэтому в группу с самым низким потенциалом регулирования климата попали пустыри площадью менее 20 га. Крупные пустыри, оказавшиеся в этой группе, характеризуются низкой долей деревьев при большой доле пустынной растительности и открытого грунта. В целом в условиях засушливого климата и скудной растительности без искусственного озеленения пустыри Астрахани плохо справляются с регулированием климата (см. рис. 2Б). Главным кондиционером города является северо-восточный кластер, в котором за счет высокой обводненности ландшафтов большая доля солнечной энергии тратится не на нагрев атмосферы, а на испарение. Изменение уровня компенсации городского острова тепла при застройке также максимальное в северо-восточном кластере, к которому относится пустырь 24. Пустынная и сухостепная растительность пустыря 51 не способна ни затенить земную поверхность, ни испарить большой объем влаги, поэтому низкий уровень компенсации острова тепла практически не изменится при застройке.

Оценка рекреационной функции. Рекреационный потенциал пустырей оказался достаточно высоким для всего города (см. рис. 2В), что связано в первую очередь с малой обеспеченностью города зеленой инфраструктурой. Расчет продолжительности пешего пути до ближайшего парка показал, что 51,4% территории города находится на расстоянии более 30 минут пути. Снижение рекреационной функции происходит из-за современного состояния почвенно-растительного покрова на территории пустыря: участки с пустынной растительностью и засоленными почвами получали более низкий балл.

Пустырь 24 сохранил свою естественную пустынную и солончаковую растительность, пустырь 51 покрыт рудеральной травянистой растительностью, представленной верблюжьей колючкой (*Alhagi pseudoalhagai*) и парнолистником обыкновенным (*Zygophyllum fabago*). Лишь на небольшом участке склона долины Волги увеличивается видовое богатство и появляется древесная растительность.

Оценка функции регулирования загрязнения. Оценка данной функции проводилась не индивидуально для каждого пустыря, а по административным районам, что связано с районной статистикой детской заболеваемости, взятой в качестве индикатора экологической обстановки. В связи с этим вариация оценок по пустырям незначительная (см. рис. 2Г). Максимальный уровень заболеваемости детей наблюдается в Трусовском районе – в среднем 38,6 случаев на 1000 детей в год. Трусовский район одновременно характеризуется низким уровнем озеленения (2,9 м^2 зеленых насаждений на человека), поэтому все пустыри правобережья Волги получили высокие оценки. В Ленинском районе наблюдается минимальный уровень заболеваемости – 26,9 случаев на 1000 детей, поэтому, несмотря на сходную плотность зеленых насаждений, пустыри северо-восточного кластера оцениваются несколько ниже. Самые высокие оценки получили пустыри Советского района, где средняя плотность зеленых насаждений составляет 0,8 м^2 на человека при относительно высоком уровне детской заболеваемости – 34,5 случаев на 1000 детей.

Интегральная ценность пустырей. Исследование показало, что вариация интегральных оценок ниже вариации оценок отдельных функций (см. рис. 2Д, рис. 3). Нередко пустыри, интегрально оцененные низко, выполняют одну из функций на очень высоком уровне и наоборот. Так, например, положение пустыря 51 в районе с высоким уровнем детской заболеваемости и недостатком зеленых насаждений определило его высокий потенциал регулирования атмосферного загрязнения.

Наиболее низкие оценки получили пустыри небольшой площади, расположенные в центральной части города. При этом площадь пустыря не является статистически достоверным фактором, определяющим его ценность. Большой вес в интегральной оценке имеет современное состояние почвенно-растительного покрова пустыря, поэтому территории, присоединенные к городу недавно и наименее нарушенные, в целом получили более высокие оценки.

Проведенная оценка носит прагматический характер, и ее результаты понятны застройщикам и городским властям. Сохранение ландшафтных функций наиболее ценных пустырей работает на улучшение санитарно-экологической ситуации в городе и сберегает ресурсы на борьбу с негативными природными процессами при их застройке. Одновременно в оценке участвуют факторы, которые влияют также и на поддержание экологических функций, менее понятных застройщикам, таких, как сохранение биологического разнообразия и мест обитания редких видов флоры и фауны. Ландшафтное положение Астрахани в дельте

р. Волги ограничивает площадь территорий с относительно благоприятными для строительства гидрогеологическими условиями. Рост города становится возможным, главным образом, за счет дренажа болот, изменения сети речных проток и других гидромелиоративных мероприятий, которые приводят к уничтожению ценных водно-болотных угодий. Оценка стокорегулирующей функции построена таким образом, что пойменное положение и наличие болотных массивов значительно повышают ценность пустыря, а сохранение пустыря для регулирования стока служит одновременно поддержанию биологического разнообразия. В условиях аридного климата особую экологическую ценность приобретают лесные массивы, являющиеся местообитаниями редких видов. Наличие древесных насаждений заложено в оценку климаторегулирующей и рекреационной функций. Таким образом, можно утверждать, что проведенное исследование дает всестороннюю оценку ландшафтно-экологического потенциала пустырей и может служить основанием для разработки рекомендаций по их дальнейшему использованию (табл. 2).

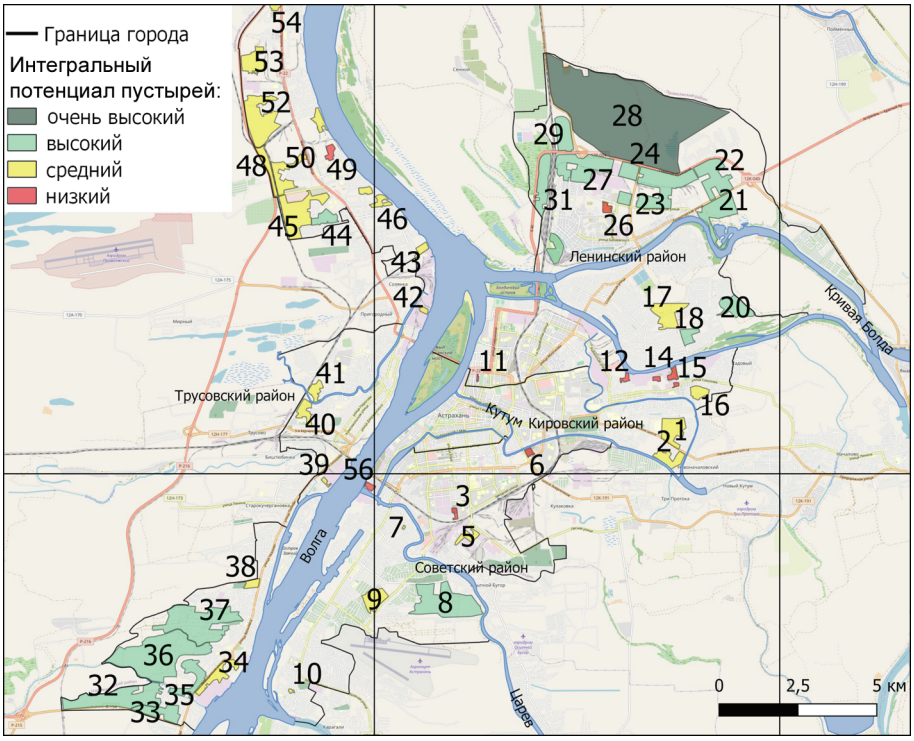

Рис. 3. Интегральный ландшафтно-экологический потенциал пустырей г. Астрахани

Fig. 3. Integral landscape and ecological potential of vacant lands in the city of Astrakhan

Неиспользуемые территории с высоким ландшафтно-экологическим потенциалом занимают в городе 1,5 тыс. га. Для этих пустырей рекомендована разреженная жилая застройка с сохранением массивов зеленых насаждений, которые выполняют отдельные ландшафтные функции на высоком уровне.

Территории со средним ландшафтно-экологическим потенциалом общей площадью 705 га в целом могут быть использованы для городского строительства, если в итоговую оценку не входят высокие и очень высокие баллы по отдельным функциям. В противном случае территория должна использоваться с максимальным сохранением зеленых насаждений.

Пустыри низкой ценности занимают 38 га городских земель и расположены преимущественно в центральной, наиболее плотно застроенной части Астрахани. Их современное состояние не обеспечивает выполнение регулирующих и рекреационных функций, но при этом два из них находятся в загрязненных районах и имеют высокий потенциал регулирования загрязнения при их озеленении и благоустройстве.

Так как ресурсы для благоустройства могут быть ограничены, пустыри с высоким ландшафтно-экологическим потенциалом были разделены под приоритетное и неприоритетное благоустройство. Менее ценные с точки зрения выполнения ландшафтно-экологических функций пустыри рекомендованы под рекреационное благоустройство. Часть пустырей выполняют свои функции в своем современном состоянии, для них рекомендовано сохранение без специального благоустройства. Для

городской застройки пригодно 11% наименее ценных пустующих земель.

Полученные оценки и рекомендации по использованию пустырей нередко входят в противоречие с принятым генеральным планом города. Так, пустырь 24, приводимый нами в качестве примера на всех этапах оценки, по совокупной ценности занимает второе место в списке, но генпланом предназначен для промышленной застройки.

Исследование проведено в среднем масштабе и является апробацией комплексных, преимущественно дистанционных методов оценки экологических функций ландшафтов городов. Для разработки конкретных предложений на локальном уровне необходимы дополнительные данные, а также проведение инженерно-экологических, инженерно-геологических и иных изысканий.

Таблица 2

Распределение пустырей по рекомендуемому землепользованию в пределах ландшафтов Астрахани

Ландшафтный район	Общая площадь пустырей, га	Площадь территории приоритетного благоустройства, га	Площадь территории неприоритетного благоустройства, га	Площадь рекреационного благоустройства, га	Сохраняемая площадь, га	Площадь, рекомендуемая к застройке, га
Северная местность дельты Волги	710,3	645,3	0	57,3	0	7,7
Центральная местность дельты Волги	347,9	157,7	55,4	30,1	18,5	86,2
Ильменно-бугровый ландшафт	1210,0	727,8	292,1	0	43,5	137,6
Волжско-приергенинский	14,2	0	0	0	0	14,2

Примечание. Составлено на основании проведенной оценки.

ВЫВОДЫ

Оценка ландшафтно-экологического потенциала пустырей Астрахани выявила более 245 га городских земель, которые можно застроить, не причинив значимого вреда городу, и 64 га земель, которые выполняют средостабилизирующие функции в своем современном состоянии. При этом более 1,9 тыс. га нуждаются в благоустройстве для их включения в экологический каркас города.

Оценка функций регулирования климата, стока, загрязнения и рекреационного потенциала пустырей Астрахани во многом зависит от современного состояния почвенно-растительного покрова как самих пустырей, так и окружающей территории, поэтому пустыри, получившие интегрально высокую оценку по четырем выбранным функциям, обладают высоким потенциалом реализации и других экологических функций – поддержания биологического разнообразия, депонирования углерода, поддержания почвенного плодородия и др.

Благодарности. Авторы выражают благодарность канд. геогр. наук А.В. Синцову, канд. геогр. наук В.В. Занозину за ценные консультации, канд. биол. наук Е.Г. Русаковой за помощь в определении растений и ГБУЗ АО «Медицинский информационно-аналитический центр» за предоставленные данные.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Занозин В.В., Худаева Д.Н. Морфологическая структура зональных ландшафтов Астраханской области // Экология России: на пути к инновациям. 2016. № 13. С. 12–16.

Землянский Д.Ю., Махрова А.Г., Медведникова Д.М. Методические подходы к составлению комплексных индексов социально-экономического развития городов // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. Геогр. 2020. № 4. С. 21–29.

Касимов Н.С., Касатенкова М.С., Ткаченко А.Н., Лычагин М.Ю., Крооненберг С.Б. Геохимия лагунно-маршевых и дельтовых ландшафтов Прикаспия. М.: Лига-вент, 2016. 244 с.

Климанова О.А., Колбовский Е.Ю., Илларионова О.А. Зеленая инфраструктура города: оценка состояния и проектирование развития // Товарищество научных изданий КМК, 2020. 324 с.

Коломин В.В., Рыбкин В.С., Чуйков Ю.С., Ярославцев А.С. Особенности состояния воздушной среды г. Астрахани // Естественные науки. 2015. № 2(51). С. 28–36.

Крутских Н.В., Белашев Б.З. База данных вызовов скорой медицинской помощи как информационная основа геоэкологических исследований урбанизированных территорий // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. Геогр. 2020. № 5. С. 52–62.

Никулина Е.М. Ландшафтно-географический подход как основа экологического каркаса городов (на примере г. Астрахани) // Естественные и технические науки. 2009. № 6(44). С. 441–446.

Харитонова Т.И., Мерекалова К.А., Моисеев А.И., Баталова В.А., Воловинский И.В., Ильинова Н.В., Подгорный О.М., Слатецкий К.Е., Соколов А.И., Черкасова В.А. Оценка ландшафтных функций урбогеосистем г. Тюмени // Материалы XIII Международной ландшафтной конференции, посвященной столетию со дня рождения Ф.Н. Милькова: в 2 т. / под ред. В.Б. Михно. М.: Истоки, 2004. С. 275–277.

Bartesaghi C., Osmond P., Peters A. Evaluating the cooling effects of green infrastructure: A systematic review of methods, indicators and data sources, *Solar Energy*, 2018, vol. 166 (February), p. 486–508.

De Groot R.S., Wilson M.A., Boumans R.M.J. A typology for the classification, description and valuation of ecosystem functions, goods and services, *Ecological economics*, 2002, vol. 41(3), p. 393–408.

Evans J.P. Wildlife corridors: An urban political ecology, *Local Environment*, 2007, vol. 12(2), p. 129–152.

Forman R.T.T. Urban ecology: science of cities. Cambridge University Press, 2014. 464 c.

Hamstead Z.A., Kremer P., Larondelle N., McPhearson T., Haase D. Classification of the heterogeneous structure of urban landscapes (STURLA) as an indicator of landscape function applied to surface temperature in New York City, *Ecological Indicators*, 2016, vol. 70, p. 574–585.

Heckert M., Mennis J. The Economic Impact of Greening Urban Vacant Land: A Spatial Difference-In-Differences Analysis, *Environment and Planning A: Economy and space*, 2012, vol. 44, is. 12, p. 3010–3027.

Liang S. Narrowband to broadband conversions of land surface albedo I: Algorithms, *Remote Sensing of Environment*, 2000, vol. 76(2), p. 213–238.

McPhearson T., Kremer P., Hamstead Z.A. Mapping ecosystem services in New York City: Applying a social-ecological approach in urban vacant land, *Ecosystem Services*, 2013, vol. 5, p. 11–26.

Schetke S., Haase D., Kötter T. Towards sustainable settlement growth: A new multi-criteria assessment for implementing environmental targets into strategic urban planning, *Environmental Impact Assessment Review*, 2012, vol. 32, p. 195–210.

Электронные ресурсы

Генеральный план города Астрахани. URL: http://astrgorod.ru/node/3927 (дата обращения 15.07.2022).

Earth Engine Apps. URL: https://yceo.users.earthengine.app/view/uhimap (дата обращения 15.07.2022).

Earth Explorers. USGS. URL: https://earthexplorer.usgs.gov/ (дата обращения 15.07.2022).

InVEST User Guide. URL: http://releases.naturalcapitalproject.org/invest-userguide/latest/index.html (дата обращения 20.10.2021).

OpenStreetMap. URL: https://www.openstreetmap.org (дата обращения 15.07.2022).

Поступила в редакцию 19.11.2022
После доработки 16.04.2023
Принята к публикации 27.07.2023

LANDSCAPE AND ECOLOGICAL POTENTIAL OF VACANT LANDS IN THE CITY OF ASTRAKHAN

A.S. Tikhonov[1], **T.I. Kharitonova**[2]

[1, 2] *Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Department of Physical Geography and Landscape Science*

[1] *Ph.D. student; e-mail: alexandrtihonov055@gmail.com*
[2] *Associate Professor, Ph.D. in Geography; e-mail: kharito2010@gmail.com*

The article provides a multicriterial assessment of urban vacant lands in the city of Astrakhan. Urban vacant lands are defined as undeveloped and unused sites, not attributed to green zones in the city plan. The purpose of the assessment is to recognize the most valuable vacant sites. Their conservation and rehabilitation could enhance the quality and attractiveness of urban environment, while less valuable sites could be recommended for urban development. The work evaluates four landscape functions that correspond to the main problems of the city: 1) runoff regulation function is assessed by the means of morphometric analysis of flow channels and field data on erosion and water logging; 2) climate regulation function is assessed using InVEST urban cooling model; 3) recreational function is evaluated by field and remote sensing data about the current state of vegetation on the vacant sites and by the demand of recreational zones estimated by walking time to the nearest park; 4) air pollution mitigation function is evaluated by the rate of environment child diseases and the density of green spaces in the city districts. Integral assessment of vacant sites helps to provide recommendations on their preferable use. Landscape and ecological potential of vacant lands varies significantly between different

parts of the city. Vacant sites of the northeastern outskirts of the city, located within the lower part of the Volga delta, received the highest values, while the small sites in the city center and the industrial zone in the eastern outskirts received the lowest values. As a result, 2570 ha of vacant lands were recommended for greening and rehabilitation, and 327,9 ha for construction.

Keywords: urban landscapes, landscape and ecological functions, remote sensing, recreational opportunities, urban heat island, run-off regulation, pollution regulation

Acknowledgments. The authors express their gratitude to Dr. A.V. Sintsov and Dr. V.V. Zanozin for the valuable consultations, to Dr. E.G. Rusakova for her assistance in plant classification and to the Medical information and analytic center (State Budgetary Healthcare Institution of Astrakhan Oblast) for the provided data.

REFERENCES

Bartesaghi C., Osmond P., Peters A. Evaluating the cooling effects of green infrastructure: A systematic review of methods, indicators and data sources, *Solar Energy*, 2018, vol. 166(February), p. 486–508.

De Groot R.S., Wilson M.A., Boumans R.M.J. A typology for the classification, description and valuation of ecosystem functions, goods and services, *Ecological economics*, 2002, vol. 41(3), p. 393–408.

Evans J.P. Wildlife corridors: An urban political ecology, *Local Environment*, 2007, vol. 12(2), p. 129–152.

Forman R.T.T. *Urban ecology: science of cities*, Cambridge University Press, 2014, 464 p.

Hamstead Z.A., Kremer P., Larondelle N., McPhearson T., Haase D. Classification of the heterogeneous structure of urban landscapes (STURLA) as an indicator of landscape function applied to surface temperature in New York City, *Ecological Indicators*, 2016, vol. 70, p. 574–585.

Heckert M., Mennis J. The Economic Impact of Greening Urban Vacant Land: A Spatial Difference-In-Differences Analysis, *Environment and Planning A: Economy and space,* 2012, vol. 44(12), p. 3010–3027.

Kasimov N.S., Kasatenkova M.S., Tkachenko A.N., Lychagin M.Yu., Kroonenberg S.B. *Geokhimiya lagunno-marshevykh i del›tovykh landshaftov Prikaspiya* [Geochemistry of lagoon-marsh and deltaic landscapes of Caspian Sea], Moscow, Liga-vent Publ., 2016, 244 p. (In Russian)

Kharitonova T., Merekalova K., Moiseev A., Batalova V., Volovinsky I., Ilyinova N., Podgorny O., Slatetskiy K., Sokolov A., Cherkasova V. [The assessment of landscape functions of the Tyumen city urbogeosystems], *Materialy XIII Mezhdunarodnoy landshaftnoy konferentsii, posvyashchonoy stoletiyu so dnya rozhdeniya F.N. Milkova* [Proceedings of the XIII International landscape conference dedicated to the centenary of the birth of F.N. Milkov], V. Mikhno (ed.), Istoki Publ., 2018, p. 275–277. (In Russian)

Klimanova O.A. Kolbovskii E.Yu. Illarionova O.A. *Zelenaya infrastruktura goroda: otsenka sostoyaniya i proektirovanie razvitiya* [Green infrastructure of a city: state assessment and future development], Scientific Press KMK Publ., 2020, 324 p. (In Russian)

Kolomin V.V., Rybkin V.S., Chuikov Yu.S., Yaroslavtsev A.S. Osobennosti sostoyaniya vozdushnoi sredy g. Astrakhani [Special aspects of the aeral environment state in the Astrakhan city], *Natural sciences*, 2015, no. 2(51), p. 28–36. (In Russian)

Krutskikh N.V., Belashev B.Z. Baza dannykh vyzovov skoroy meditsinskoy pomoshchi kak informatsionnaya osnova geoekologicheskikh issledovaniy urbanizirovannykh territoriy [Database of ambulance calls as an information basis for the geoecological study of urbanized areas], *Vestn. Mosk. Un-ta*, *Ser. 5, Geogr*., 2020, no. 5, p. 52–62. (In Russian)

Liang S. Narrowband to broadband conversions of land surface albedo I: Algorithms, *Remote Sensing of Environment*, 2000, vol. 76(2), p. 213–238.

McPhearson T., Kremer P., Hamstead Z.A. Mapping ecosystem services in New York City: Applying a social-ecological approach in urban vacant land, *Ecosystem Services*, 2013, vol. 5, p. 11–26.

Nikulina E.M. Landshaftno-geograficheskiy podkhod kak osnova ekologicheskogo karkasa gorodov (na primere g. Astrakhani) [Landscape-geographical approach as a basis of the ecological framework of the cities (case study of the Astrakhan city)], *Natural and technical sciences*, 2009, no. 6(44), p. 441–446. (In Russian)

Schetke S., Haase D., Kötter T. Towards sustainable settlement growth: A new multi-criteria assessment for implementing environmental targets into strategic urban planning, *Environmental Impact Assessment Review*, 2012, vol. 32, p. 195–210.

Zanozin V.V., Hudayeva D.N. Morfologicheskaya struktura zonal'nykh landshaftov Astrakhanskoy oblasti [Morphological structure of zonal landscapes of Astrakhan region], *Ekologiya Rossii: na puti k innovatsiyam*, 2016, no. 13, p. 12–16. (In Russian)

Zemlyanskiy D.Yu., Makhrova A.G., Medvednikova D.M. Metodicheskiye podkhody k sostavleniyu kompleksnykh indeksov sotsial'no-ekonomicheskogo razvitiya gorodov [Methodological approaches to the elaboration of complex indexes of the socio-economic development of cities], *Vestn. Mosk. Un-ta*, *Ser. 5, Geogr*., 2020, no. 4, p. 21–29.

Web sources

Earth Engine Apps, URL: https://yceo.users.earthengine.app/view/uhimap (access date 15.07.2022).

Earth Explorers, USGS, URL: https://earthexplorer.usgs.gov/ (access date 15.07.2022).

General'nyi plan goroda Astrakhani [Astrakhan city site plan], URL: http://astrgorod.ru/node/3927 (access date 15.07.2020).

InVEST User Guide, URL: http://releases.naturalcapitalproject.org/invest-userguide/latest/index.html (access date 20.10.2021).

OpenStreetMap, URL: https://www.openstreetmap.org (access date 15.07.2022).

Received 19.11.2022
Revised 16.04.2023
Accepted 27.07.2023