

ПРИРЕЧНЫЕ ПРОСТРАНСТВА ГОРОДА: КАРТОГРАФИРОВАНИЕ И ОЦЕНКА СОЦИАЛЬНО-ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ФУНКЦИЙ

© 2022 г. О. А. Илларионова^{a, *}, О. А. Климанова^{a, **}

^aМосковский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия

*E-mail: heatherpaw95@gmail.com

**E-mail: oxkl@gmail.com

Поступила в редакцию 18.05.2022 г.

После доработки 07.07.2022 г.

Принята к публикации 12.07.2022 г.

В работе предложены методы выделения приречных пространств (ПРП) в городе и оценки их социально-экологических функций на основе геопространственных данных, в т.ч. космических снимков Landsat 8, цифровой модели рельефа Aster Global DEM, материалов генеральных планов городов, карт четвертичных отложений ВСЕГЕИ (1 : 200000) и OpenStreetMap. Рассмотрены геоморфологические, социальные и административно-правовые подходы к обособлению ПРП. Авторы статьи предлагают комбинированный метод определения границ ПРП для городского уровня с использованием TWI (Topographic Wetness Index — топографический индекс влажности), инструмента “глубины долин”, данных о четвертичных отложениях, и карт функционального зонирования, а также свои критерии оценки качества зелёной инфраструктуры ПРП в аспекте предоставления социальных и экологических функций при помощи карт земельного покрова и функционального зонирования для административных границ города и зоны сплошной застройки. Выделены ПРП для трех модельных городов (Нижний Новгород, Волгоград, Хабаровск) и для них рассчитаны площади разных по эколого-социальной ценности категорий земельного покрова и функциональных зон. Получены выводы о величине вклада зелёной инфраструктуры ПРП в общий объем экосистемных услуг зелёной инфраструктуры города и зависимости этого показателя от физико-географических условий и взаиморасположения реки и города.

Ключевые слова: зелёная инфраструктура города, оценка комфортности городской среды, приречные пространства, экосистемные услуги

DOI: 10.31857/S086960712204005X

ВВЕДЕНИЕ

Реки и прилегающие к ним территории выступают важной частью городской среды, определяя как возможности градостроительного развития, так и его ограничения. В практике городского планирования они входят в состав водно-зеленого или экологического каркаса (сейчас также широко используется термин “водно-зеленая инфраструктура”) и оказывают ряд важнейших экосистемных услуг (ЭУ), необходимых для обеспечения комфортной городской среды и поддержания здоровья населения [26]. Так, экосистемы незапечатанных приречных пространств (ПРП) способствуют регулированию поверхностного и подземного стока и городского микроклимата [20, 27], сохранению биологического разнообразия околородных и водных местообитаний, предоставляют возможности для разных видов рекреации горожан (прогулки на све-

жем воздухе, занятия водными видами спорта, рыбная ловля и т.д.). Все это, наряду с отмечаемым увеличением риска неблагоприятных гидрологических явлений как в России, так и других странах мира, определяет необходимость дополнительного внимания к исследованию функций приречных территорий в составе зеленой инфраструктуры (ЗИ) города.

В отечественных научных трудах по географии, экологии и архитектуре ПРП определяются по-разному, но везде отмечается, что это буферные зоны, являющиеся связующим звеном между рекой и городской застройкой, которые обеспечивают взаимодействие природных и антропогенных процессов. Д.В. Литвинов [4] рассматривает городское ПРП как контактную полосу, где происходит взаимопроникновение природных и антропогенных элементов города. Е.В. Баклаженко [1] определяет ПРП как зону, непосредственно прилегающую к реке с обеих сторон и воспринимающую как природное влияние реки, так и антропогенное воздействие города. Ха Дуи Ань [8] рассматривает ПРП как планировочные элементы городского каркаса и запасных общественных рекреационных пространств. М.А. Маташова [5] дает определение ПРП как прилегающих к реке городских территорий, объединенных общими механизмами функционирования и использования природных ресурсов. О.Е. Садковская [6] определяет границы ПРП комплексом природных (рельеф, крутизна склонов, характер растительного покрова, литогенная основа и т.д.) и антропогенных (городские морфоструктуры, функциональная зона, тип использования территории, плотность застройки и др.) факторов.

В зарубежных работах для обозначения приречных пространств используется либо термин “*riparian area*” (*рипарийские зоны*), либо “*urban river zone*” (*зона вдоль городской реки*). В первом случае, чаще (но не исключительно) рассматриваются проблемы экологических функций и биоразнообразия; второе понятие чаще применяется для исследования социокультурных, экономических, архитектурных и урбоэкологических задач. П.М. Гроффман и соавторы [14] определяют ПРП как горячие точки экологических функций на месте соприкосновения сухопутных и водных экосистем в городе. Национальный исследовательский совет США [22] называет городские “рипарийские зоны” экотонами между сухопутными и аквальными экосистемами, имеющими особые биофизические условия, экологические процессы и биоту.

В крупных городах России современное состояние и состав зеленой инфраструктуры приречных пространств (ПРП) определяется совокупностью природных, исторических и социально-экономических факторов. В зоне исторической застройки набережные часто сосредотачивают главные достопримечательности и исторически ценные объекты города [6]. И в центральных, и в периферийных частях города, в условиях сокращения промышленного производства в промышленных зонах, значительная часть ПРП оказалась занята недействующей производственной инфраструктурой и пустырями. Часть озелененных территорий (в частности, на речных поймах) из-за инженерно-геологических условий, ограничивающих застройку, сохранилась в естественном или близком к ним состоянии, нередко имея охранный статус [9].

Учитывая большую площадь объектов, ограниченность исходных материалов о состоянии и качестве компонентов городской среды, нередко доступных только для отдельных участков приречных пространств, актуальными становятся задачи разработки алгоритмов исследования приречных территорий на основе общедоступных геопространственных данных, в т.ч. материалов дистанционного зондирования. Продуктивность такого подхода для оценки состояния и экосистемных услуг зеленой инфраструктуры на общегородском уровне уже показана нами на примере территорий крупнейших городов России [18]. В задачах исследования зеленой инфраструктуры приречных территорий отдельную сложность составляет вопрос их выделения с учетом природных (гипсометрических и геоморфологических), планировочных и функциональных особенностей городской территории. Использование какого-то одного —

градостроительного или экологического — подходов не позволяет полностью учесть своеобразие приречных пространств и предложить адекватные инструменты для их благоустройства и экореабилитации. Последнее же с учетом значимости приречных территорий как знаковых для города особенно актуально при разработке мастер-планов городов или стратегий городского развития. В связи этим цель данной статьи — оценка возможностей использования общедоступных геопространственных данных, в т. ч. данных дистанционного зондирования, для выделения приречных пространств и оценки их функций с целью их последующей оптимизации.

МЕТОДИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ К ВЫДЕЛЕНИЮ ПРИРЕЧНЫХ ТЕРРИТОРИЙ И ОЦЕНКЕ ИХ ФУНКЦИЙ

В отечественной и зарубежной литературе, а также в практике градостроительного регулирования используются три основных подхода к определению границ ПРП: административно-правовой, геоморфологический и социально-ориентированный.

Административно-правовой метод подразумевает использование официальных документов (ГОСТ, СНИП, Кодексы РФ и пр.) и упомянутых в них определений для проведения границ. В Российской Федерации единственным задокументированным термином, близким по значению к ПРП, является водоохранная зона (и прибрежная защитная полоса), которая определяется 65 Статьей Водного кодекса РФ как территория, примыкающая к береговой линии водного объекта со специальным режимом осуществления хозяйственной или иной деятельности. Ширина зоны различается в зависимости от длины реки; так, для рек протяженностью более 50 км она составляет 200 м.

С инструментальной точки зрения это наиболее простой метод, который может быть сразу применен к оцифрованному контуру реки инструментами создания буфера в большинстве ГИС-программ. В западноевропейской и американской практике территориального планирования предпринимались попытки дифференцировать размер буфера в зависимости от геоботанических и фаунистических признаков, средней ширины поймы или необходимой для защиты рек озелененной полосы. Для этого выбирались эталонные реки, результаты изучения которых распространялись впоследствии на аналогичные по природным особенностям объекты. Такой подход был отражен в региональных руководствах по штатам США и речным бассейнам (Guidelines for Riparian Buffers from Minnesota Forest Resources Council, A Guide for Establishing and Maintaining Riparian Forest Buffers from USDA, Tennessee Urban Riparian Buffer Handbook). В 2000-х гг. появляется ряд работ [23, 29, 32], критикующих подход с зафиксированными буферами ПРП, т.к. подобные границы не отражают реальной зависимости ширины приречной зоны от окружающего ландшафта или гидрологических, геоморфологических, гидрохимических и прочих свойств реки [21] и не совпадают с ландшафтными границами ПРП.

С точки зрения геоморфологического подхода ПРП выделяются по границам речной долины [18], зоне развития активной прибрежной эрозии [31], области распространения аллювиальных отложений и аллювиальных почв [21], тыловому шву первой надпойменной террасы или поймы [27]. Распространение этих явлений отражается на тематических картах, оцифрованные контуры которых впоследствии интегрируются в материалы градостроительного проектирования.

В базе данных Copernicus для выделения приречных пространств, наряду с анализом повторяемости наводнений (JRC Flood Hazard Risk Maps), широко используются различные индексы (индекс топографической влажности TWI, NDVI, NDWI), рассчитанные по ЦМР и мультиспектральным снимкам, и приемы моделирования на основе цифровых моделей рельефа. Указанные индексы в сочетании с данными полевых

исследований могут быть использованы и для выделения зоны приречной растительности [15, 24, 33].

Необходимость в использовании социально-ориентированных подходов чаще всего возникает при исследовании плотно застроенных городских территорий, где естественные берега занимают незначительную площадь. В этом случае при выделении ПРП наибольшее значение придается функциональному назначению и землепользованию прибрежных территорий, их демографическим, архитектурным и планировочным свойствам. Они могут быть учтены в ходе кластерного анализа, с помощью которого обособливаются однородные зоны по характеру городской ткани, плотности населения и функциям вдоль реки [16].

В данной работе мы определяем ПРП города как непосредственно прилегающую к реке в черте города территорию с особыми природными, планировочными или хозяйственными свойствами, отличающими ее от других городских пространств. Учитывая разнородный характер приречных территорий в крупных городах России, для разработки унифицированного алгоритма выделения приречных территорий представляется целесообразным сочетание указанных методов. Для природных (незастроенных) территорий приоритет отдается геоморфолого-гидрологическому подходу, для застроенных — социально-ориентированному.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Объекты исследования. В качестве объектов исследования выбраны Нижний Новгород, Волгоград и Хабаровск. Выбор городов для исследования обоснован их размером (с населением более 500 тыс. чел.), размером крупнейшей реки (длина более 1000 км), а также разными типами взаиморасположения “река-город”. Последнее позволяет отразить роль реки и ее приречных пространств в развитии города: мы предполагаем, что река и ее приречные пространства могут предоставлять максимум услуг для населения, в случае, если она проходит через наиболее плотно застроенный и населенный центр города, а территории города в значительной степени лежат на берегах реки. Примерными критериями для определения взаиморасположения “река-город” могут быть следующие:

- расположение города относительно реки (на одном/нескольких берегах);
- удаленность центрального района от реки;
- форма развития города относительно реки (равномерное “расползание” города по обоим берегам, параллельное реке, однонаправленное в сторону от реки). На рис. 1 отражены возможные типы взаиморасположения “река-город”.

К первому типу (рис. 1а) мы отнесли Нижний Новгород: он равномерно развивается между Окой и Волгой, и большая часть центра расположена на берегах этих рек. Второй тип (рис. 1б) характерен для Волгограда, он развивается параллельно правому берегу Волги и имеет вытянутый вдоль реки центр. В Хабаровске город и река относятся к правобережному типу взаиморасположения (рис. 1в). Форма городской зоны сплошной застройки с “лучами” застройки вдоль дорог по направлению от реки позволяет предполагать, что город постепенно развивается вглубь суши, а не вдоль реки, тем самым удаляясь от нее.

Под “сплошной зоной застройки” в данной работе мы подразумеваем непрерывно застроенную (с разной степенью плотности застройки) территорию города. Сплошная зона застройки может включать в себя аэропорты, участки малоэтажной застройки и частных домов, а также другие инфраструктурные объекты как запечатанные территории, являющиеся непосредственным продолжением застроенной части города. Часто отдельные застроенные участки могут быть отделены от других лесными массивами или сельскохозяйственными угодьями. Если эти участки незначительно удалены друг от друга или примыкают друг к другу, то мы считаем их продолжением зоны сплошной

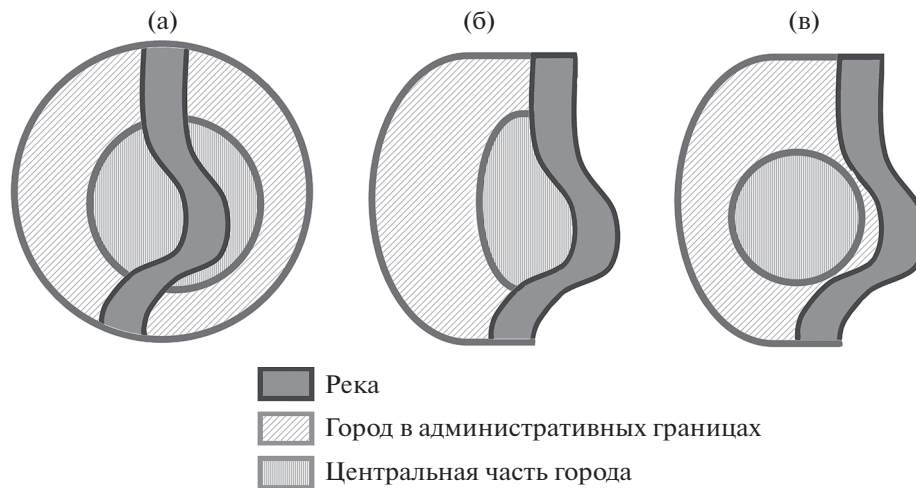


Рис. 1. Типы взаиморасположения “река-город”: а — развитие города по обоим берегам с прибрежным центром; б — развитие города по одному берегу с прибрежным центром; в — развитие города по одному берегу с удаляющимся от реки центром.

Fig. 1. Types of relative position between the city and the river: а—both banks city development; б—one bank city development; в—one bank city development away from the river.

застройки, а включенные массивы рассматриваем как элементы зеленой инфраструктуры. Более того, если зеленый массив “вписан” в зону застройки — то есть глубоко внедряется в застроенную часть и окружен с нескольких сторон застроенной территорией, — мы считаем, что он оказывает значительное влияние на прилегающие городские территории и таким образом является элементом зеленой инфраструктуры внутри зоны сплошной застройки.

Методы определения ПРП. В нашей работе мы определяем ПРП для городов с достаточно разными и неоднородными по структуре прибрежными зонами: один берег может быть плотно застроенным центром города, другой представлять собой “незапечатанную” пойму или “мозаику” зеленых и запечатанных пространств. В связи с этим в работе для выделения ПРП в пределах природных территорий и зон городской застройки использовались разные подходы:

1) Для природных частей, свободных от городской застройки, используется геоморфологический метод. Наиболее доступным представляется использование карты четвертичных образований в масштабе 1 : 200 000 (ВСЕГЕИ), доступной на портале <https://www.vsegei.ru/> для ряда регионов России. В этом случае за ПРП принимаются границы контуров современных аллювиальных отложений, соответствующих поймам. На данный момент данные о четвертичных образованиях доступны не для всех регионов России, поэтому ограничиваться одним этим методом при исследовании нескольких объектов не представляется возможным. Более того, при использовании масштаба 1 : 200 000 требуется дополнительная верификация, которую можно провести при помощи топографических индексов. Мы опирались на полученные в ArcMap 10.3 растры индекса топографической влажности (Topographic Wetness Index, TWI) [12] и глубины долин (Valley Depth) (рис. 2).

Индекс TWI показывает потенциальную влажность водосбора, т.е. способность ячейки аккумулировать воду. Наиболее высокие значения соответствуют областям с наибольшей аккумуляцией влаги. Поскольку приречная биота и свойственные для

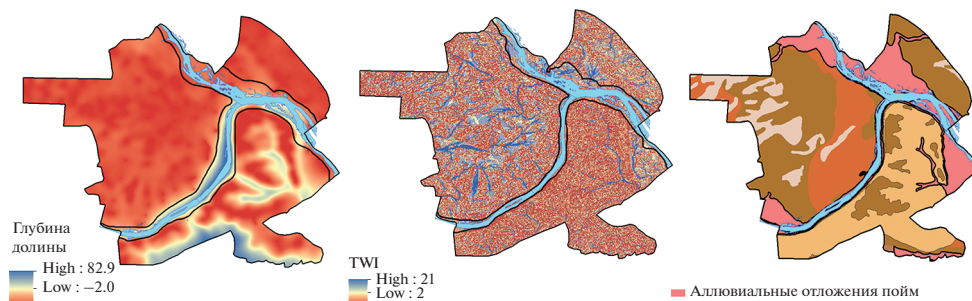


Рис. 2. Геоморфологические подходы к выделению ПРП на примере Нижнего Новгорода.

Fig. 2. Geomorphological approaches to urban river zones delimitation for Nizhniy Novgorod case study.

ПРП эрозионные и гидрологические процессы приурочены к наиболее влажным территориям с высокой аккумуляцией воды, данный индекс можно использовать для определения границ ПРП [28]. TWI был рассчитан на основе предварительно обработанного раstra ЦМР Aster Global DEM V3 по формуле [10]:

$$TWI = \ln(\alpha/\text{tg}\beta),$$

где: α — отношение площади, дренируемой через определенную точку на склоне, к длине склона, и рассчитываемое как суммарный сток (flow accumulation); β — крутизна склона (slope).

Другой инструмент, который использовался для определения границ ПРП — глубина долин. Глубина долин — это разница между высотой определенной точки и интерполированной высотой водораздела. Данный показатель обычно используется для определения степени расчлененности рельефа и выделения овражно-балочной сети [30]. Мы приняли за ПРП наиболее четко выделяющиеся террасы долины с наибольшими значениями глубины (т.е. разница высот между этими территориями и водоразделом максимальна) для каждого берега. На растре “глубины долин” ПРП выделялось по границе “наибольшей разницы высот” между точкой и интерполированной высотой водораздела. Последняя обозначается преобладающим красным цветом (значение около 2 м), т.е. это относительно ровная поверхность без значительных колебаний высот. Желтый и синий цвет, напротив, обозначают наибольшую разницу высот относительно средней высоты водораздела. По желтому и синему цвету проводилась граница ПРП. В случае с Нижним Новгородом, эту границу сложнее провести по левому берегу Волги из-за обширной поймы и незначительных перепадов высот в границах города на левом берегу. Мы провели границу на данном участке, ориентируясь на средние размеры ПРП в городах, чтобы избежать включения огромных площадей пойм, относительно других участков ПРП. На данном участке выделение ПРП данным способом не объективно и лучше ориентироваться на данные по TWI или четвертичным отложениям.

Для получения финальных границ ПРП для природных территорий все три полученных растра были наложены друг на друга, после чего была вручную отрисована финальная граница. В случае, если ширина ПРП в одной “природной” части города оказывалась значительно больше, чем в среднем в других, эта большая часть ПРП выделялась так, чтобы ее ширина превышала среднюю не более чем в 3–4 раза. Этот шаг необходим для адекватной оценки состояния ПРП города и предупреждения завышенных показателей озеленения.

2) Для плотно застроенных частей города мы пользовались социально-ориентированным подходом. Во-первых, по ЦМР не всегда возможно достоверно определить

высоту поверхности в пределах города из-за высотных зданий. Во-вторых, внутри городской зоны сплошной застройки трансформированы практически все естественные процессы и свойства, присущие речной долине, и опираться на методы, которые определяют ПРП по практически несуществующим в условиях застройки признакам, по нашему мнению, нецелесообразно. Более того, внутри города большую роль имеет функциональное значение прилегающих к реке территорий, поскольку это является одним из основных критериев определения состояния и ценности ПРП. Таким образом, на основе карт функционального зонирования из приложения к Генеральным планам городов [34–36] мы выделяли ПРП по границам прилегающих непосредственно к реке функциональных зон (рис. 3).

Такие границы часто проведены по крупным улицам, относительно совпадающим с высотными ступенями на растре глубины долин, так как, несмотря на трансформацию плотно урбанизированных земель, при образовании и развитии город, как правило, “вписывается” в существующие мезоформы рельефа [3].

Оценка состояния и ценности ПРП. Состояние зеленой инфраструктуры на ПРП оценивалось по трем индикаторам: 1) доля ЗИ на ПРП; 2) структура ЗИ ПРП; 3) соотношение функциональных зон на ПРП. За показатель ценности ПРП мы принимали вклад ЗИ ПРП в общий объем экосистемных услуг городской ЗИ. Поскольку предо-

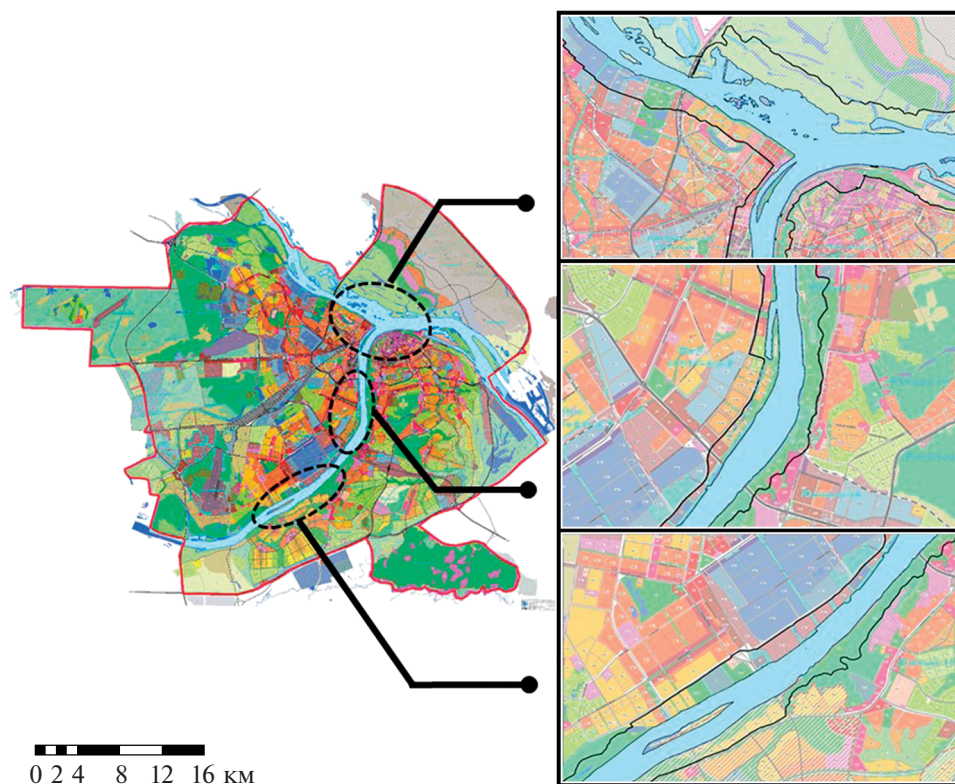


Рис. 3. Выделение границ ПРП по границам функциональных зон Генерального плана на примере Нижнего Новгорода.

Fig. 3. Delimitation of urban river zones according to functional zones' boundaries of the General Plan: case study of Nizhniy Novgorod.

ставляемый объем экосистемных услуг ЗИ в городе напрямую зависит от площади ЗИ [19], то долю ЗИ ПРП от всей площади городской ЗИ можно считать вкладом ЗИ ПРП в формирование общего объема ЭУ зеленой инфраструктурой города. Суть данного “площадного подхода” к оценке объема ЭУ заключается в том, что если мы считаем, что ПРП полностью выполняет ту или иную ЭУ, то оно полностью покрыто незапечатанными озелененными пространствами (т.е. ЗИ занимает 100% площади исследуемой территории). Однако, очевидно, что в городе ЗИ не занимает всю площадь ПРП, а некую долю от его площади. То есть не все ПРП является “поставщиком” ЭУ, а только определенная его часть. Именно этим показателем – долей ЗИ, способной выполнять свою экосистемную роль, от площади всего ПРП – мы и оцениваем вклад ПРП в общий объем ЭУ. Более того, древесная растительность предоставляет больший спектр культурных и средорегулирующих экосистемных услуг, чем недревесная. По этой причине мы также предлагаем оценить, сколько древесной растительности приходится именно на ПРП. Под ЗИ мы подразумеваем совокупность всех незастроенных элементов городского пространства, для которых характерна мультифункциональность, связность и иерархичность [18]. Каждый элемент ЗИ занимает определенное место в системе общего городского озеленения (что характеризует его иерархичность), выполняет определенные функции (функциональность) и связан с определенными районами города, прилегающими территориями или другими элементами зеленой инфраструктуры (связность). В рамках данной работы мы оцениваем иерархичность, связность и функциональность, разделяя растительный покров на древесный и недревесный, допуская, что первый выполняет больший спектр экосистемных услуг и тем самым является более ценным, и учитывая месторасположение ЗИ относительно городской зоны сплошной застройки.

Для определения площади ЗИ города и ПРП на основе синтезированных в “искусственных цветах” снимков Landsat 8 за июль–август 2020 г. была создана карта земельного покрова. Для этого в ArcMap 10.3 сначала было проведено дешифрирование с обучением при помощи инструмента Maximum Likelihood Classification и вручную созданных эталонов для пяти классов земельного покрова: 1) древесная растительность; 2) недревесная растительность; 3) незапечатанные поверхности, лишенные растительности; 4) застроенные территории; 5) водные поверхности. Затем были выделены сельскохозяйственные угодья, для чего по снимку в “естественных цветах” проводилось ручное дешифрирование по геометрическим дешифровочным признакам. В целях верификации и уточнения границ с/х угодий к ним были добавлены полигоны из категории “landuse” в OSM с ключами “meadow”, “farmland”, “orchard” (другие категории с/х земель для изучаемых территорий не представлены в OSM). Сельскохозяйственные площади были выделены из прочей растительности и отнесены в отдельный класс земельного покрова.

Чтобы проводить оценку ЗИ ПРП на основе данных дистанционного зондирования (ДДЗ), удобно пользоваться пороговыми значениями рекомендуемых размеров ЗИ на исследуемом объекте. С одной стороны, можно ориентироваться на градостроительные нормативы, согласно которым доля ЗИ от площади города должна составлять от 40 [13] до 50% [2] в жилых районах. Данные нормативы в первую очередь ориентированы на формирование комфортной городской среды для горожан, т.е. охватывают социальный аспект ЗИ ПРП. С другой стороны, следует принимать во внимание и рекомендации по озеленению самих ПРП. Как таковых, стандартов озеленения городских ПРП в нашей стране не разработано, так как не установлено и общее понятие ПРП. Обычно стандарты приводятся для разных функциональных зон города, без дополнительных рекомендаций для ПРП. Тем не менее, стандарты по озеленению водоохраных зон и набережных в городах могут иметься в отдельных стандартах благоустройства городов по распоряжению местных администраций: например, [7]. Отечественное законодательство касается только лесов, расположенных в водоохраных

зонах, где запрещены сплошные рубки (Статьи 104, 113 Лесного кодекса РФ). Зарубежные стандарты допускают щадящие рубки в рипарианских зонах (по ширине сопоставимых с водоохранными зонами: 50–150 м) при условии сохранения определенной доли сомкнутого древесного покрова на территории. Значения минимально допустимой доли озеленения ПРП водотоков первого порядка варьируют от 50 до 75% [11]. В руководствах по управлению лесами рипарианских зон разных штатов США наиболее часто используется значение 75% [25]. Данные рекомендации ориентированы на сохранение целостности и нормального функционирования рипарианских экосистем, то есть выполнение функций регулирования и формирования стока, предотвращения эрозии, поддержания местообитаний. Это второй, так называемый экологический аспект городских ПРП, которые, несмотря на свое расположение в трансформированных городских ландшафтах остаются природными объектами и выполняют соответствующие экологические функции. Учитывая дуалистичность нашего объекта исследования, мы предлагаем за норму озеленения ПРП в городе принять среднее значение градостроительных и водоохраных рекомендаций – 60% ЗИ от площади ПРП.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Расположение и границы ПРП. Во всех трех обследованных городах ПРП представлены как условно-природными территориями, так и застроенными городскими территориями, причем наблюдается преобладание первых. Это связано, во-первых, с наличием обширных неосвоенных прилегающих к реке территорий внутри административных границ города, во-вторых, с наличием обширных пойм (в том числе островов), которые часто непригодны для активного развития. Для получения более объективных результатов, мы отдельно предлагаем оценивать вклад только ПРП сплошной зоны застройки для наиболее плотно застроенных частей города (т.е. не включая в оценку неблагоустроенные окраины города). Во всех городах наблюдается тот или иной тип озелененных ПРП вне зоны сплошной застройки (см. рис. 3). Так, в Нижнем Новгороде ПРП левых берегов Волги (рис. 4б) и Оки (рис. 4а) за пределами зоны сплошной застройки – это обширные поймы; в Хабаровске и Волгограде левобережные ПРП значительно шире ПРП зоны сплошной застройки из-за включенных в границы города островов (рис. 4в). В контексте социальных функций ЗИ, наиболее ценными выглядят ПРП вне зоны сплошной застройки типа “а”, поскольку у них наибольшая доступность по сравнению с другими типами ПРП: зеленые берега или острова, пригодные для рекреации, зачастую являются труднодоступными из-за отсутствия мостов или регулярного паромного сообщения. Такой тип ПРП вне зоны сплошной застройки (“а”) преобладает в Нижнем Новгороде. С другой стороны, изолированные или удаленные от зоны сплошной застройки ПРП наиболее ценны с точки зрения сохранения приречных экосистем, поскольку на них ограничено количество, и, соответственно, воздействие рекреантов (острова в Волгограде и Хабаровске, левый берег Волги в Нижнем Новгороде).

Размеры выделенных ПРП колеблются между 10 и 25% от всей площади города. Наибольшие площади у ПРП Волгограда и Хабаровска из-за включенных в их границы крупных речных островов (25% и 20% от площади городов соответственно), тогда как у Нижнего Новгорода только 8% (табл. 1). Острова не отличаются высокой плотностью застройки, поэтому мы исключили их из границ ПРП зоны сплошной застройки. Тогда размеры ПРП Волгограда и Хабаровска уменьшаются до 9 и 15% соответственно.

Оценка ЗИ ПРП. Категории функциональных зон несколько отличаются на картах генпланов функционального зонирования во всех городах. Для сравнения объектов мы предлагаем выделять шесть основных функциональных зон, объединяя однотипные категории с точки зрения вклада ЗИ ПРП в предоставление ЭУ (рис. 5). Например,

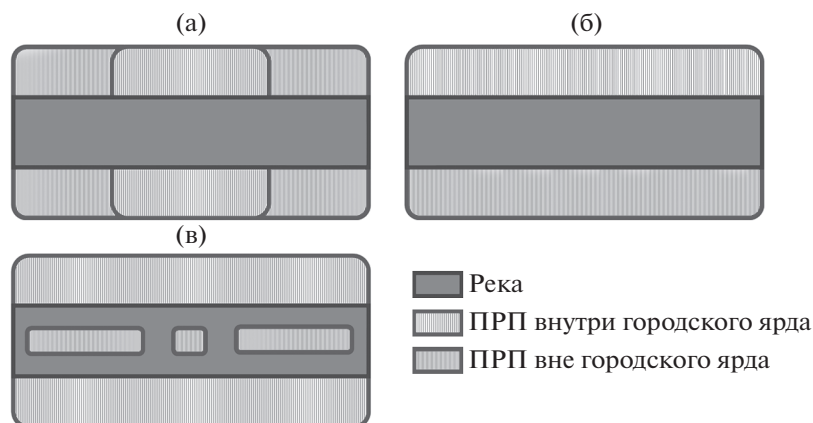


Рис. 4. Типы озелененных ПРП внутри административных границ города вне зоны сплошной застройки: а – периферийный; б – лево/правобережный; в – островной.

Fig. 4. Types of urban river zones green infrastructure inside the administrative city boundaries and outside the urban built-up core: a—peripheral; б—left or right bank; в— island.

имеет смысл объединить все типы застройки (кроме индивидуальной малоэтажной) в одну категорию “жилой зоны”; в зону природно-рекреационных земель включить общественные озелененные территории, лесопарки, леса и др.; в производственно-коммуникационную зону включить зоны транспортной, инженерной и прочей специальной инфраструктуры.

Таблица 1. Структура земельного покрова ПРП исследуемых городов
Table 1. Land cover structure of urban river zones of the cities of case studies

Показатель	Нижний Новгород			Волгоград			Хабаровск		
	доля от площади города, %	доля от площади ПРП, %	доля площади в ПРП от площади в городе, %	доля от площади города, %	доля от площади ПРП, %	доля площади в ПРП от площади в городе, %	доля от площади города, %	доля от площади ПРП, %	доля площади в ПРП от площади в городе, %
Древесная растительность	23	18	6	9	26	74	10	10	28
Недревесная растительность (без с/х земель)	25	37	11	27	33	31	30	67	59
Открытый грунт	15	17	9	30	20	17	9	5	17
Застроенные территории	25	24	7	22	18	21	32	16	13
Водная поверхность	7	4	4	1	2	75	18	2	3
С/х земли	6	0	0	35	0	0	2	0	0
ВСЕГО	100	100	8	100	100	20	100	100	25

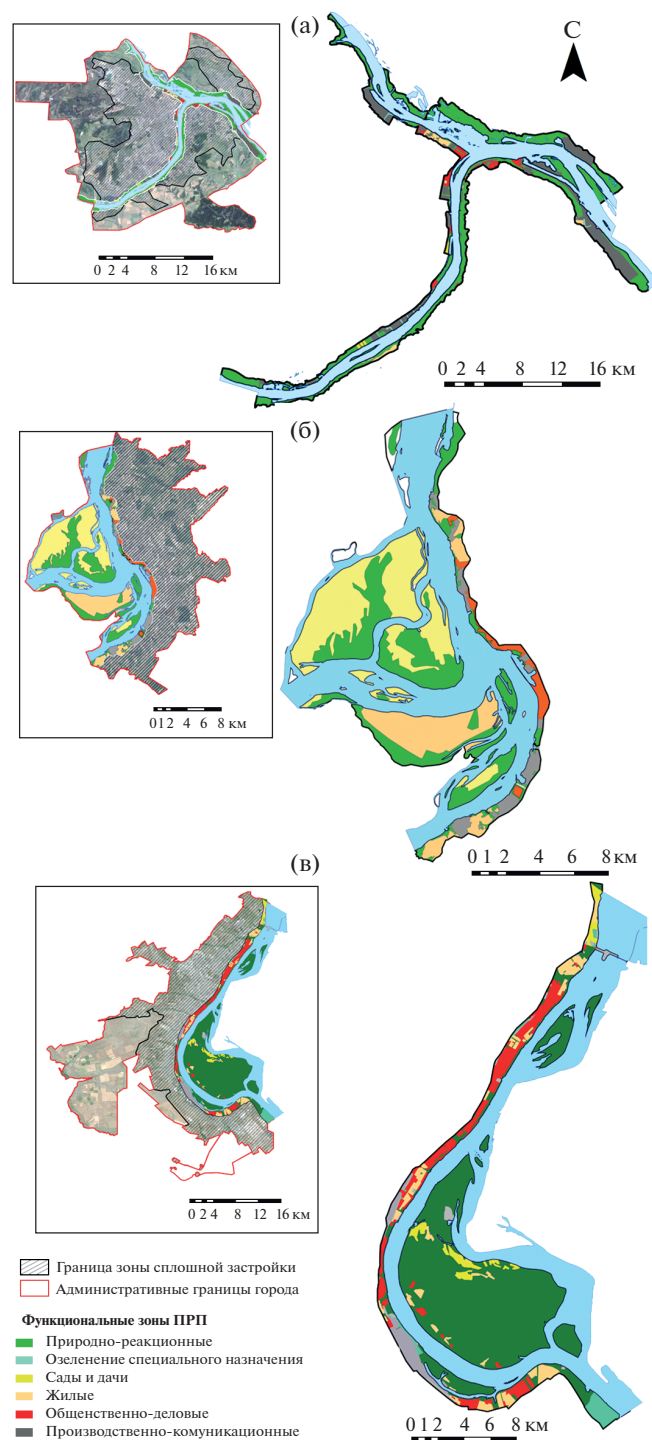


Рис. 5. Функциональные зоны городов: а – Нижний Новгород; б – Хабаровск; в – Волгоград.

Fig. 5. Urban functional zones: а—Nizhniy Novgorod; б—Khabarovsk; в—Volgograd.

Полученные данные позволяют определить долю наиболее благоприятных для предоставления экологических и социальных функций земель. Преобладание природно-рекреационных территорий свидетельствует о высокой представленности как экологических, так и социальных функций. По сути, это и есть вся ЗИ, выполняющая широкий спектр ЭУ. Наличие на некоторых картах функционального зонирования отдельной категории “городских парков/скверов” (как в Волгограде) позволило бы отдельно оценить их вклад в объем рекреационных функций, так как подобные элементы ЗИ в первую очередь созданы для ежедневной рекреации граждан. Зона садов и дач, преимущественно состоящая из коттеджей и индивидуальных малоэтажных домов, также входит в рекреационный потенциал ПРП. Высокая доля производственных территорий на ПРП, напротив, свидетельствует о слабом вкладе зоны в комфортность городской среды. Обычно разные категории ЗИ не выделяются на картах генеральных планов. Поэтому для оценки эффективности выполнения социально-экологических функций ЗИ ПРП нам представляется более уместным использование категорий древесной и недревесной растительности, выделенных по картам земельного покрова (рис. 6).

Вклад ПРП в формирование объема ЭУ ЗИ города в исследованных городах составляет в среднем 15%, причем наибольшую значимость ПРП имеют, с одной стороны, в степной зоне, а с другой — для городов равномерного двустороннего типа развития с приречным центром. Первый вывод сделан на основе результатов по Волгограду, где естественная древесная растительность формируется практически исключительно на ПРП (в т.ч. байрачные пойменные леса), Второй вывод получен из результатов по Нижнему Новгороду, где ПРП находится буквально в самом центре зоны сплошной застройки и обеспечивает наиболее плотно застроенные районы города зелеными и открытыми пространствами. Наименьший вклад ЗИ ПРП отмечается в городах с благоприятным для развития древесной растительности климатом, расположенных на одном берегу и развивающихся не вдоль реки, а вглубь суши. С одной стороны, центр города (т.н. «живая» часть города) удаляется от реки. С другой, города в благоприятных для произрастания древесной растительности природных зонах (Хабаровск, Нижний Новгород) имеют большую общую обеспеченность древесным покровом, поэтому роль ПРП по этому показателю не так высока. Если зона сплошной застройки занимает значительную долю ПРП (Волгоград, Нижний Новгород), ПРП отличается большей средней обеспеченностью ЗИ, чем остальная часть зоны сплошной застройки и центра благодаря незастроенным зеленым склонам и поймам, непригодным для освоения (табл. 2).

В естественных ландшафтах речные долины выполняют ключевую для устойчивости экосистем роль зеленых коридоров. В городе данная роль рек и ПРП также частично сохраняется [37]. Реки могут стать основой для создания почти непрерывных экологических коридоров, а не отдельных зеленых массивов на них. Такие экологические коридоры обладают большинством свойств остальных элементов ЗИ, но, помимо этого, позволяют осуществляться естественному обмену вещества и энергии между зелеными ядрами, стабилизирующему экологический каркас, поддерживающему большинство природных процессов и обеспечивающему биоразнообразие [38]. Более того, связность подразумевает не только связь между зелеными элементами, но и связь городской ЗИ с пригородными экосистемами. Способность ЗИ и ПРП, в частности, выполнять роль зеленого коридора может быть оценена показателями ее фрагментарности (минимальный и средний размер, плотность, близость зеленых “патчей” — сплошных зеленых участков) и непрерывности озелененной полосы ПРП (отношение длин непрерывных озелененных пространств внутри зоны сплошной застройки к длине береговой линии внутри этой зоны) [39]. В данной работе, для оценки способности ПРП выполнять роль зеленого коридора мы в качестве рабочей выбрали следующую гипотезу: если рассматривать все ПРП как экологические коридоры, то эти функции будут

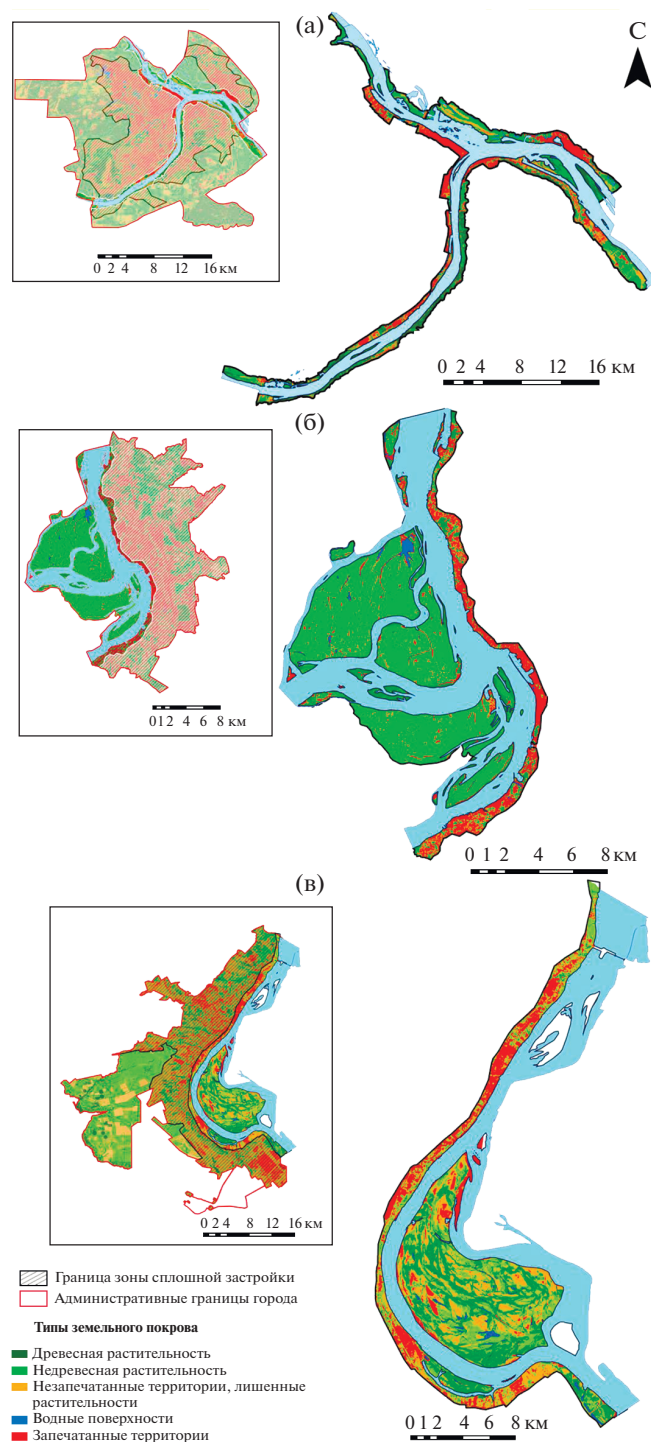


Рис. 6. Земельный покров городов и ПРП: а – Нижний Новгород; б – Хабаровск; в – Волгоград.

Fig. 6. Land cover of the cities and urban river zones: а—Nizhniy Novgorod; б—Khabarovsk; в—Volgograd.

Таблица 2. Структура земельного покрова ПРП и всего города внутри зоны сплошной застройки
Table 2. Land cover structure of urban river zones inside the urban built-up zone

Показатель	Нижний Новгород			Волгоград			Хабаровск		
	доля от площади зоны сплошной застройки, %	доля от площади ПРП, %	доля площади в ПРП от площади в городе, %	доля от площади зоны сплошной застройки, %	доля от площади ПРП, %	доля площади в ПРП от площади в городе, %	доля от площади зоны сплошной застройки, %	доля от площади ПРП, %	доля площади в ПРП от площади в городе, %
Древесная растительность	11	19	17	5	13	35	14	10	6
Недревесная растительность (без с/х земель)	21	28	13	30	32	14	21	15	6
Открытый грунт	17	17	9	36	19	7	12	15	11
Застроенные территории	43	33	8	28	34	16	51	60	10
Водная поверхность	8	3	3	0	2	100	0	0	0
ВСЕГО	100	100	10	100	100	14	100	100	9

выполняться полностью в том случае, если 100% его площади занимают естественные или близкие к ним экосистемы. В таком случае доля озелененных территорий внутри ПРП — это доля земель, потенциально поддерживающих и обеспечивающих биоразнообразие. Во всех исследованных городах данный показатель выше 50% (см. табл. 2), то есть минимум половина площади ПРП способна выполнять роль поддержания биоразнообразия. Недостатком данного подхода является то, что не учитывается непрерывность ЗИ, поэтому данный показатель характеризует общий потенциал поддержания биоразнообразия, но не его обеспечение за счет формирования экологического коридора.

Методы выделения и оценки ПРП. Многие крупные улицы и другие транспортные пути совпадают по конфигурации с определенными высотными уровнями (бровками или тыловыми швами склонов, ограничивающими ПРП). Таким методом удобно пользоваться при проведении границ в зоне сплошной застройки по карте функционального зонирования. В случае, когда четкой закономерности не выявлено (Нижний Новгород), границы в зоне сплошной застройки проводятся по первой параллельной реке улице, отделяющей разные типы прилегающих к реке функциональных зон. Наше исследование показало, что для определения ПРП крупных рек использование TWI наименее удобно (см. рис. 2), так как значения индекса отражают множество мелких водотоков и элементов овражно-балочной системы и показывают отдельные локальные участки потенциальной аккумуляции воды, но не ограничивают сплошного пространства ПРП.

Полученные площади ЗИ в городе в результате полуавтоматизированного дешифрирования космических снимков с обучением в целом совпадают с площадью озелененных территорий, приведенной в генеральных планах городов, с разницей в 10–15%, что связано не только с погрешностью дешифрирования, но и разными подходами к выделению ЗИ. Мы оцениваем именно ЗИ, включающую все озелененные территории горо-

да, тогда как в генпланах фиксируются озелененные общественные территории, обычно подразумевающие только благоустроенные элементы ЗИ. Учитывая относительную точность определения площади ЗИ в городе, мы считаем целесообразным использование тех же методов и для ЗИ ПРП. Данный способ позволяет достаточно оперативно инвентаризовать ЗИ в границах ПРП и соотнести площади ПРП с площадями городов.

ВЫВОДЫ

Исследование зеленой инфраструктуры городских приречных пространств осложнено, во-первых, выбором метода выделения их границ, во-вторых – относительной неразработанностью подходов к оценке их состояния и вклада в формирование общегородского объема экосистемных услуг зеленой инфраструктуры. Данные трудности связаны в первую очередь с дуалистичной природой городских ПРП, которые, с одной стороны, представляют собой застроенные и сильно преобразованные ландшафты города, с другой – продолжают оставаться речными долинами со свойственными им экосистемами и процессами. Трудно использовать только одни геоморфологические подходы к выделению границ: ведь в городе река формирует и особое социокультурное пространство. Это неповторимые с другими элементами ЗИ набережные, бечевники и пляжи, приречные леса, или, напротив, промышленные и специализированные, но тоже уникальные для города портовые и промышленные зоны. Даже жилые кварталы вдоль реки отличаются от других жилых районов города обычно привязанной к линиям рельефа планировкой, открытостью, проветриваемостью, организацией дорожного движения. По этой причине рационально совмещать геоморфолого-геоэкологические и социокультурные подходы как к выделению ПРП, так и к оценке их состояния и вклада в формирование устойчивой городской среды. В статье мы рассмотрели лишь один, пусть и крайне важный, элемент ПРП – зеленую инфраструктуру, которая включает и искусственное озеленение, и сохраняющиеся естественные приречные экосистемы.

Оценка объема экосистемных услуг по площадным показателям зеленой инфраструктуры приречных пространств – первый шаг на пути реализации подобной оценки. Его использование возможно при первичной диагностике городской территории, а достоинства связаны с возможностью сопоставления результатов, полученных в ходе унифицированной методики для разных городов. В то же время он слабо учитывает качественные и пространственные свойства ЗИ: во внимание принимается только тип растительного покрова (древесный или недревесный; с допущением, что первый потенциально выполняет больше экосистемных услуг) и расположение ЗИ относительно зоны сплошной застройки и элементов речной долины. Перспективные направления совершенствования методики связаны с расширением перечня индикаторов оценки и уточнения результатов по таким ключевым экосистемным функциям, как поддержание биоразнообразия, регулирование микроклимата, стока и формирование мест для рекреации.

При оценке ЗИ ПРП, как и ЗИ всего города, необходимо отдельно оценивать индикаторы для зоны сплошной застройки. Исходя из того, что бенефициары экосистемных услуг – это прежде всего жители города, зеленая инфраструктура в зоне сплошной застройки более всего направлена на обеспечение их повседневных потребностей, в том числе рекреационных и климаторегулирующих, то есть работает на локальном уровне. В то же время, зеленая инфраструктура незастроенных приречных пространств вносит существенный вклад в объем услуг на уровне города и региона, выполняя функции экологического коридора. Это определяет необходимость разработки отдельных подходов к оценке ее экосистемных услуг с учетом столь важной функции.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Баклаженко Е.В.* Классификация и зонирование ПРП малых городов на примере Белгородской области // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. ВГ Шухова. 2020. № 8. С. 61–68.
2. *Горохов В.А.* Городское зеленое строительство. М.: Стройиздат, 1991. 416 с.
3. *Колбовский Е.Ю.* Ландшафтное планирование. М.: Академия, 2008. 128 с.
4. *Литвинов Д.В.* Градоэкологические принципы развития прибрежных зон (на примере крупных городов Поволжья): автореф. дис. ... канд. арх. СПб.: ГАСУ, 2009. 20 с.
5. *Маташова М.А.* Эколого-градостроительная оптимизация ПРП крупного города (на примере г. Хабаровска): автореф. дис. ... канд. арх. СПб.: ГАСУ, 2011. 23 с.
6. *Садковская О.Е.* Архитектурно-планировочная организация ландшафтов зарегулированных рек малых и средних городов юга России // Интернет-Вестник ВолгГАСУ. 2010. № 1. С. 1–7.
7. *Старобина А., Трофимова К.* Стандарт благоустройства объектов инфраструктуры отдыха в городе Москве. Книга 3. Стандарт благоустройства зон отдыха у воды – [Электронная версия]. https://www.mos.ru/upload/documents/files/4128/RIOT_Standart_Kniga_3_Red_06042017_.pdf (Дата обращения: 20.03.2022).
8. *Ха Дуи Ань.* Направления преобразования и развития приречных территорий города Ханоя: диссертация ... кандидата арх. СПб.: СПбГАСУ, 2013. 182 с.
9. *Шатрова А.И.* Особо охраняемые природные территории в крупнейших городах РФ // Антропогенная трансформация природной среды. 2018. № 4. С. 113–117.
10. *Beven K.J., Kirkby M.J.* A physically based, variable con-tributing area model of basin hydrology // Hydrological Sciences Bulletin. 1979. № 24. pp. 43–69.
11. *Broadmedow S., Nisbet T.R.* The effects of riparian forest management on the freshwater environment: a literature review of best management practice // Hydrology and Earth System Sciences. 2004. V. 8. № 3. pp. 286–305.
12. *Chaves H. et al.* Mapping Hydromorphic Areas and Drainage Networks in Tropical Riparian Zones using Topographic Attributes // Authorea. 2020. V. 29. pp. 1–23.
13. *DCRG.* Planning Policy Statement: Eco-towns. A Supplement to Planning Policy Statement 1. Section ET14. London: Department for Communities and Local Government. 2009. URL: <http://www.communities.gov.uk/publications/planningandbuilding/pps-ecotowns> (дата обращения: 25.12.2021).
14. *Groffman P.M. et al.* Down by the riverside: urban riparian ecology //Frontiers in Ecology and the Environment. 2003. V. 1. № 6. pp. 315–321.
15. *Hagan J.M., Pealer S., Whitman A.A.* Do small headwater streams have a riparian zone defined by plant communities? // Journal of Forestry Research. 2006. V. 36, № 9. pp. 2131–2140.
16. *Hermida M. A. et al.* Methodology for the assessment of connectivity and comfort of urban rivers // Cities. 2019. V. 95. pp. 102376.
17. *Holmes K.L., Goebel P.C.* A functional approach to riparian area delineation using geospatial methods //Journal of Forestry. 2011. V. 109. № 4. pp. 233–241.
18. *Klimanova O., Kolbowski Yu., Illarionova O.* Green Infrastructure, Urbanization, and Ecosystem Services: The Main Challenges for Russia's Largest Cities // Land. 2021. V. 10. № 12. pp. 1292.
19. *Klimanova O.A.* Ecosystem services of Russia. Prototype of the national report. V. 3. Green infrastructure and ecosystem services of Russia's largest cities // Moscow: BCC Press, 2021. 102 p.
20. *Kozak D. et al.* Blue-Green Infrastructure (BGI) in Dense Urban Watersheds. The Case of the Medrano Stream Basin (MSB) in Buenos Aires //Sustainability. 2020. V. 12. № 6. pp. 2163.
21. *Mason L., Maclean A. L.* GIS modeling of riparian zones utilizing digital elevation models and flood height data: an intelligent approach // ASPRS 2007 Annual Conference, Tampa, Florida. 2007.
22. *NAP.* Riparian areas: functions and strategies for management. 2002. URL: <https://www.nap.edu/read/10327/chapter/1> (дата обращения: 20.04.2022).
23. *Palik B.J., Zasada J. and Hedman C.* Ecological considerations for riparian silviculture. // New York, US: Lewis Publishers, 2000. 534 p.
24. *Pennington D.N., Hansel J., Blair R.B.* The conservation value of urban riparian areas for landbirds during spring migration: land cover, scale, and vegetation effects // Biological Conservation. 2008. V. 141. № 5. pp. 1235–1248.
25. *Phillips M.J., Swift L.W., Blinn C.R.* Best management practices for riparian areas // Boca Raton, US: Lewis Publishers, CRC Press LLC, 2000. 428 p.
26. *Pinto U., Maheshwari B.L.* River health assessment in peri-urban landscapes: an application of multivariate analysis to identify the key variables // Water Research. 2011. V. 45, № 13. pp. 3915–3924.
27. *Qiao J., Wang M., Zhang D., Ding C., Wang J., & Xu D.* Synergetic development assessment of urban river system landscapes // Sustainability. 2017. V. 9. № 2145. pp. 1–15.

28. *Robinson T.S.* Mapping ecologically functional riparian corridors using LiDAR and hydrologic landscape analysis: degree in geographic information science. San Francisco State University, US, 2017. 82 p.
29. *Skally C. and Sagor E.* Comparing riparian management zones to riparian areas in Minnesota: a pilot study // Minnesota Forest Resources Council, Research Report. 2001.
30. *Skentos A.* Topographic Position Index based landform analysis of Messaria (Ikaria Island, Greece) // *Acta Geobalcanica*. 2018. V. 4. № 1. pp. 7–15.
31. *Sparovek G., Ranieri S.B.L., Gassner A., Maria I.C., Schnug E., Santos R.F.D., Joubert A.* A conceptual framework for the definition of the optimal width of riparian forests // *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 2002. V. 90. pp. 169–175.
32. *Verry E.S., Dolloff C.A., Manning M.E.* Riparian ecotone: a functional definition and delineation for resource assessment. *Water, Air, and Soil Pollution* // *Focus*. 2004. № 4. pp. 67–94.
33. *Yang X.* Integrated use of remote sensing and geographic information systems in riparian vegetation delineation and mapping // *International Journal of Remote Sensing*. 2007. V. 28. № 1–2, pp. 353–370.
34. Генеральный план г. Нижнего Новгорода (разработан с расчетным сроком до 2030 г.). Схема 3. Схема границ функциональных зон территории г. Нижнего Новгорода с параметрами планируемого для развития и границами участков для размещения объектов капитального строительства федерального, регионального и местного значения. Масштаб 1 : 20000.
35. Генеральный план городского округа Хабаровск (разработан с расчетным сроком до 2035 г.). Графический материал 1. Карта функционального зонирования. Карта границ населенного пункта. Масштаб 1 : 20000.
36. Генеральный план городского округа город-герой Волгоград (разработан с расчетным сроком до 2025 г.). Графический материал 3. Карта функциональных зон городского округа город-герой Волгоград. Масштаб 1 : 50000.
37. *Разгулова А.М.* Экокоридор в рамках мегаполиса как элемент преодоления экологических барьеров // *Наука, образование и экспериментальное проектирование*. 2015. С. 228–232.
38. *Chung L., Zhang F., & Wu F.* Negotiating green space with landed interests: The urban political ecology of greenway in the Pearl River Delta, China // *Antipode*. 2018, № 50 (4), pp. 891–909.
39. *Wang Q. et al.* Effects of urban agglomeration and expansion on landscape connectivity in the river valley region, Qinghai-Tibet Plateau // *Global Ecology and Conservation*. 2022. V. 34, pp. 02004.

Urban River Zones: Mapping and Social Environmental Functions Assessment

O. A. Illarionova¹, *, and O. A. Klimanova¹, **

¹*Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia*

*E-mail: heatherpaw95@gmail.com

**E-mail: oxkl@gmail.com

The paper proposes methods for identifying urban river zones (URZ) and assessing their socio-environmental functions, based on geospatial data, including Landsat 8 satellite images, Aster Global DEM, city master plan materials, VSEGEI maps of Quaternary deposits (1 : 200000) and OpenStreetMap. Social, geomorphological and administrative approaches to the URZ delimitation are considered. The authors propose a combined method for determining URZ boundaries at the urban level using TWI, the “Valley Depth” tool, data on Quaternary deposits, and functional zoning maps. Authors also suggest their criteria for assessing the quality of URZ green infrastructure in terms of providing social and environmental functions using land cover data and functional zoning for the administrative boundaries of the city and the built-up urban core. URZ were defined for three model cities (Nizhny Novgorod, Volgograd, Khabarovsk). Authors calculated the area of land cover categories and functional zones of different social and environmental value. The article demonstrates conclusions about how large the contribution of URZ green infrastructure (GI) to the total volume of urban GI ecosystem services is and how this indicator depends on geographical conditions and relative position of the city and the river.

Keywords: ecosystem services, green infrastructure, urban environment comfort assessment, urban river zone

REFERENCES

1. Baklazhenko E.V. Klassifikacija i zonirovanie PRP malyh gorodov na primere Belgorodskoj oblasti // Vestnik Belgorodskogo gosudarstvennogo tehnologicheskogo universiteta im. VG Shuhova. 2020. № 8. S. 61–68.
2. Gorohov V.A. Gorodskoe zelenoe stroitel'stvo. M.: Strojizdat, 1991. 416 s.
3. Kolbovskij E.Ju. Landshaftnoe planirovanie. M.: Akademija, 2008. 128 s.
4. Litvinov D.V. Gradojekologicheskie principy razvitiya pribrezhnyh zon (na primere krupnyh gorodov Povolzh'ja): avtoref. dis. ... kand. arh. SPb.: GASU, 2009. 20 s.
5. Matashova M.A. Jekologo-gradostroitel'naja optimizacija PRP krupnogo goroda (na primere g. Habarovska): avtoref. dis. ... kand. arh. SPb.: GASU, 2011. 23 s.
6. Sadkovskaja O.E. Arhitekturno-planirovochnaja organizacija landshaftov zaregulirovannyh rek malyh i srednih gorodov juga Rossii // Internet-Vestnik VolgGASU. 2010. № 1. S. 1–7.
7. Starobina A., Trofimova K. Standart blagoustrojstva ob#ektov infrastruktury otdyha v gorode Moskve. Kniga 3. Standart blagoustrojstva zon otdyha u vody – [Jelektronnaja versija]. https://www.mos.ru/upload/documents/files/4128/RIOT_Standart_Kniga_3_Red_06042017_.pdf (Data obrashhenija: 20.03.2022)
8. Ha Dui An'. Napravlenija preobrazovanija i razvitiya prirechnyh territorij goroda Hanoja: dissertacija ... kandidata arh. SPb.: SPbGASU, 2013. 182 s.
9. Shatrova A.I. Osobo ohranjaemye prirodnye territorii v krupnejshih gorodah RF // Antropogennaja transformacija prirodnoj sredy. 2018. № 4. S. 113–117.
10. Beven K.J., Kirkby M.J. A physically based, variable con-tributing area model of basin hydrology // Hydrological Sciences Bulletin. 1979. № 24. pp. 43–69.
11. Broadmedow S., Nisbet T.R. The effects of riparian forest management on the freshwater environment: a literature review of best management practice // Hydrology and Earth System Sciences. 2004. V. 8. № 3. pp. 286–305.
12. Chaves H. et al. Mapping Hydromorphic Areas and Drainage Networks in Tropical Riparian Zones using Topographic Attributes // Authorea. 2020. № 29. pp. 1–23.
13. DCRG. Planning Policy Statement: Eco-towns. A Supplement to Planning Policy Statement 1. Section ET14. London: Department for Communities and Local Government. 2009. URL: <http://www.communities.gov.uk/publications/planningandbuilding/pps-ecotowns> (data obrashhenija: 25.12.2021).
14. Groffman P. M. et al. Down by the riverside: urban riparian ecology // Frontiers in Ecology and the Environment. 2003. V. 1. № 6. pp. 315–321.
15. Hagan J.M., Pealer S., Whitman A.A. Do small headwater streams have a riparian zone defined by plant communities? // Journal of Forestry Research. 2006. V. 36. № 9. pp. 2131–2140.
16. Hermida M. A. et al. Methodology for the assessment of connectivity and comfort of urban rivers // Cities. 2019. № 95. pp. 102376.
17. Holmes K.L., Goebel P.C. A functional approach to riparian area delineation using geospatial methods // Journal of Forestry. 2011. V. 109. № 4. pp. 233–241.
18. Klimanova O., Kolbowski Yu., Illarionova O. Green Infrastructure, Urbanization, and Ecosystem Services: The Main Challenges for Russia's Largest Cities // Land. 2021. V. 10. № 12. pp. 1292.
19. Klimanova O.A. Ecosystem services of Russia. Prototype of the national report. V. 3. Green infrastructure and ecosystem services of Russia's largest cities // Moscow: BCC Press, 2021. 102 p.
20. Kozak D. et al. Blue-Green Infrastructure (BGI) in Dense Urban Watersheds. The Case of the Medrano Stream Basin (MSB) in Buenos Aires // Sustainability. 2020. V. 12. № 6. pp. 2163.
21. Mason L., Maclean A.L. GIS modeling of riparian zones utilizing digital elevation models and flood height data: an intelligent approach // ASPRS 2007 Annual Conference, Tampa, Florida. 2007.
22. NAP. Riparian areas: functions and strategies for management. 2002. URL: <https://www.nap.edu/read/10327/chapter/1> (data obrashhenija: 20.04.2022).
23. Palik B.J., Zasada J. and Hedman C. Ecological considerations for riparian silviculture. // New York, US: Lewis Publishers, 2000. 534 p.
24. Pennington D.N., Hansel J., Blair R.B. The conservation value of urban riparian areas for landbirds during spring migration: land cover, scale, and vegetation effects // Biological Conservation. 2008. V. 141. № 5. pp. 1235–1248.
25. Phillips M.J., Swift L.W., Blinn C.R. Best management practices for riparian areas // Boca Raton, US: Lewis Publishers, CRC Press LLC, 2000. 428 p.
26. Pinto U., Maheshwari B.L. River health assessment in peri-urban landscapes: an application of multivariate analysis to identify the key variables // Water Research. 2011. V. 45, № 13. pp. 3915–3924.
27. Qiao J., Wang M., Zhang D., Ding C., Wang J., & Xu D. Synergetic development assessment of urban river system landscapes // Sustainability. 2017. V. 9. № 2145. pp. 1–15.
28. Robinson T.S. Mapping ecologically functional riparian corridors using LiDAR and hydrologic landscape analysis: degree in geographic information science. San Francisco State University, US, 2017. 82 p.

29. Skally C. and Sagor E. Comparing riparian management zones to riparian areas in Minnesota: a pilot study // Minnesota Forest Resources Council, Research Report. 2001.
30. Skentos A. Topographic Position Index based landform analysis of Messaria (Ikaria Island, Greece) // *Acta Geobalcanica*. 2018. V. 4. № 1. pp. 7–15.
31. Sparovek G., Ranieri S.B.L., Gassner A., Maria I.C., Schnug E., Santos R.F.D., Joubert A. A conceptual framework for the definition of the optimal width of riparian forests // *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 2002. V. 90. pp. 169–175.
32. Verry E.S., Dolloff C.A., Manning M.E. Riparian ecotone: a functional definition and delineation for resource assessment. *Water, Air, and Soil Pollution* // *Focus*. 2004. V. 4. pp. 67–94.
33. Yang X. Integrated use of remote sensing and geographic information systems in riparian vegetation delineation and mapping // *International Journal of Remote Sensing*. 2007. V. 28. № 1–2. pp. 353–370.
34. General'nyj plan g. Nizhnego Novgoroda (razrabotan s raschetnym srokom do 2030 g.). Shema 3. Shema granic funkcional'nyh zon territorii g. Nizhnego Novgoroda s parametrami planiruemogo dlja razvitiya i granicami uchastkov dlja razmeshheniya ob'ektov kapital'nogo stroitel'stva federal'nogo, regional'nogo i mestnogo znachenija. Masshtab 1 : 20 000.
35. General'nyj plan gorodskogo okruga Habarovsk (razrabotan s raschjotnym srokom do 2035 g.). Graficheskij material 1. Karta funkcional'nogo zonirovaniya. Karta granic naselennogo punkta. Masshtab 1 : 20 000.
36. General'nyj plan gorodskogo okruga gorod-geroj Volgograd (razrabotan s raschjotnym srokom do 2025 g.). Graficheskij material 3. Karta funkcional'nyh zon gorodskogo okruga gorod-geroj Volgograd. Masshtab 1 : 50 000.
37. Razgulova A.M. Jekokoridor v ramkah megapolisa kak jelement preodolenija jekologicheskikh bar'erov // *Nauka, obrazovanie i jeksperimental'noe proektirovanie*. 2015. S. 228–232.
38. Chung L., Zhang F., & Wu F. Negotiating green space with landed interests: The urban political ecology of greenway in the Pearl River Delta, China // *Antipode*. 2018, 50 (4), pp. 891–909.
39. Wang Q. et al. Effects of urban agglomeration and expansion on landscape connectivity in the river valley region, Qinghai-Tibet Plateau // *Global Ecology and Conservation*. 2022. V. 34. pp. 02004.