

ГЕНЕЗИС И ГЕОГРАФИЯ ПОЧВ

УДК 502.171

АНАЛИЗ ДИНАМИКИ ПОЧВЕННО-ПРОДУКЦИОННОГО ПОТЕНЦИАЛА ЭКОСИСТЕМ РЕЧНЫХ БАССЕЙНОВ ПО ДАННЫМ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ

© 2020 г. Т. А. Трифонова^{a, b, *}, Н. В. Мищенко^b, Ж. Д. Петросян^b

^aМГУ им. М.В. Ломоносова, Ленинские горы, 1, Москва, 119991 Россия

^bВладимирский государственный университет им. А.Г. и Н.Г. Столетовых, ул. Горького, 87, Владимир, 600000 Россия

*e-mail: tatrifon@mail.ru

Поступила в редакцию 09.04.2019 г.

После доработки 11.07.2019 г.

Принята к публикации 20.09.2019 г.

Для оценки состояния почвенных и растительных ресурсов территории нескольких речных водосборных бассейнов использован показатель почвенно-продукционного потенциала, рассчитываемый по наземным и дистанционным данным (индекс поглощенной растительностью при фотосинтезе радиации, FPAR), а также показатели запаса фитомассы, данные о продукции фитоценозов и структуре землепользования, листовой индекс, LAI. Показано, что экосистемы речных бассейнов, расположенные в разных природно-климатических зонах, неоднозначно реагируют на изменения климатических параметров. Полученные данные позволяют прогнозировать динамику почвенно-продукционного потенциала в условиях изменения таких климатических характеристик, как температура и осадки. Показано, что продукционный потенциал продолжает со временем увеличиваться только на тех территориях, где сумма биологически активных температур является ограничивающим фактором, т.е. в бассейнах зоны смешанных лесов. Установлено, что в речных бассейнах с ограниченным количеством осадков повышение температуры приведет к уменьшению почвенно-продукционного потенциала.

Ключевые слова: климатические параметры, глобальный листовой индекс (LAI), индекс поглощенной растительностью при фотосинтезе радиации (FPAR), изменение климата

DOI: 10.31857/S0032180X20020136

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время широко обсуждается проблема изменения климата и возможные трансформации природно-антропогенных комплексов [17]. Одним из важнейших параметров экологического мониторинга является продуктивность растительного покрова. Данный показатель зависит от состояния почвенного покрова, который в значительной мере формирует основу продукционного потенциала ландшафта [2, 4]. Также необходимо учитывать степень антропогенного преобразования территории [3, 9, 10, 28].

Изучение листового полога наземными методами проводится сравнительно давно [22]: оценивается характер облиствления древесного яруса, его усыхание, влияние климатических условий и хозяйственной деятельности человека на эти процессы. Именно наземные методы позволили изучить взаимосвязь показателей листовых индексов подчиненных ярусов фитоценоза и древесной растительности, формирующей высокие пологи леса. Так, для нагорных дубрав южной лесостепи показано, что подчиненные

ярусы фитоценоза (подлесок, подрост, травяной покров) на первых этапах демультипликативных сукцессий перехватывают фотосинтетическое производство древесного яруса, но компенсируют потери листвы у древостоев примерно наполовину; в результате снижается суммарный листовой индекс. Насаждения с упрощенной структурой листового полога имеют максимальные значения листового индекса [16].

Для характеристики состояния почвенного и растительного покровов экосистем речных бассейнов нами предложено использовать показатель почвенно-продукционного потенциала, который характеризует способность природной или природно-антропогенной экосистемы в определенных почвенно-биолиматических условиях в течение длительного времени воспроизводить продукцию (фитомассу). В основе его расчета лежит комплексная оценка нескольких параметров: удельной продуктивности, естественного плодородия почв, урожайности зерновых культур; биолиматических параметров; почвенно-экологического индекса [20, 21].

Почвенно-продукционный потенциал позволяет оценить средний многолетний ресурс территории для производства фитомассы естественными и природно-антропогенными экосистемами [12, 19]. Однако следует отметить, что, не меняя сути предложенного показателя, мы продолжаем поиск получения исходных составляющих параметров более оперативным путем для обеспечения экологического мониторинга.

С целью оценки состояния и динамики почвенно-растительного покрова в настоящей работе предлагается анализировать индексы, рассчитанные по данным дистанционного зондирования, которые в последнее время все шире используются и позволяют повысить оперативность исследований [8, 20, 30, 31].

В современных научных исследованиях состоянии растительного покрова наиболее популярным является вегетационный индекс NDVI, так как он прост в вычислении, имеет высокую чувствительность к изменению состояния растительности и умеренно чувствителен к влиянию отражения почвенного покрова [15, 29, 20, 24]. Обычно ограничением для использования NDVI в целях оценки состояния вегетирующей растительности является ее низкое проективное покрытие. В случае разреженной растительности почвенный покров оказывает существенное и неоднозначное влияние на значения этого показателя [18].

Для оценок состояния растительного покрова, свободных от влияния почв, используется глобальный листовой индекс (LAI) и показатель радиации, поглощенной растительностью при фотосинтезе (FPAR). LAI и FPAR — представляют собой биофизические параметры, описывающие структуру растительного покрова и скорость проходящего в нем энергомассообмена [27, 33, 34]. Их используют для расчета величины фотосинтеза, эвапотранспирации и первичной продуктивности экосистем [26, 29, 32]. Эти параметры необходимы для оценки процессов круговорота энергии, углерода, воды и изучения биогеохимических характеристик растительности. Их активно применяют для моделирования динамики растительного покрова [25, 35]. Кроме того, при расчете LAI/FPAR используется большее количество спектральных зон съемки (прошедших атмосферную коррекцию), чем при расчете NDVI, а также учитывается карта типов покровов поверхности Земли и дополнительная наземная информация [18].

Большая изменчивость характеристик листового полога, невысокая изученность его пространственно-временных параметров требуют оперативных данных о листовом индексе, поэтому на современном этапе использование дистанционных данных является предпочтительным.

Настоящая работа посвящена анализу почвенно-продукционного потенциала экосистем речных бассейнов, расположенных в различных природно-климатических зонах, а также выявлению особенностей биологического отклика этих экосистем на возможные изменения климатических параметров. Цель работы заключалась в демонстрации возможности использования данных дистанционного зондирования для мониторинга продукционного потенциала растительности и расчета итогового показателя почвенно-продукционного потенциала различных речных бассейнов.

ОБЪЕКТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследование выполнено на основе бассейнового подхода, который развивается авторами. Ведущую системообразующую роль играет речной сток, он формирует экосистему речного бассейна через распределение водных ресурсов, особенности рельефа и микроклимата, тем самым влияя на почвенный покров и растительность. Рельеф бассейна и его водные потоки могут рассматриваться как внешняя экологическая среда для функционирования биоты, в которой живой компонент образует характерные для бассейна пространственные ряды. Поэтому актуальным является анализ параметров функционирования речного бассейна как единой экосистемы в рамках различных ландшафтных и климатических условий, а также анализ динамики его продукционных характеристик при различных сценариях изменения климатических условий.

В качестве объектов исследования использовали ключевые речные бассейны, расположенные в европейской части Российской Федерации. Это часть Восточно-Европейской холмистой равнины с высотами, обычно не превышающими 200 м над уровнем моря. Значительная протяженность района с севера на юг и относительно равнинный характер местности обуславливают проявление отчетливо выраженной зональности природных условий, заключающейся в закономерной смене географических ландшафтов.

Климатические условия района обладают общими чертами, позволяющими отнести климат к бореальному типу, характеризующемуся признаками континентальности: теплым летом и холодной снежной зимой. Однако большая протяженность территории в широтном и меридиональном направлениях обуславливает существенные различия в климатических условиях отдельных его частей: севера и юга, запада и востока. В направлении с севера на юг климат становится все более теплым, а с запада на восток, по мере удаления от Атлантического океана, более континентальным [23].

Для детального анализа выбрано несколько ключевых речных бассейнов, наиболее полно отражающих разнообразие природных комплексов

и ландшафтов изучаемой территории, это водосборные бассейны рек: Мезень, Онега, Клязьма, Самара, Воронеж и Сал.

Бассейны охватывают территорию Восточно-Европейской равнины во всех природных зонах от лесотундры и тундры (в низовьях р. Мезень), через зоны бореальных, суббореальных и неморальных лесов до сухих степей юга России в бассейне р. Сал. Ключевые бассейны принадлежат водосборам Северного Ледовитого океана (Мезень, Онега), Черного моря (Воронеж и Сал — притоки р. Дон, впадающего в Азовское море) и Волго-Каспийского бассейна внутреннего стока (Клязьма и Самара). Несмотря на большую величину охватываемой территории, все эти бассейны находятся в пределах единого геологического фундамента Восточно-Европейской (Русской) платформы, перекрытой толщами осадочного чехла, а также в пределах единого умеренного климатического пояса от умеренно холодного до умеренно теплого континентального типа климата [5, 11, 15], что обуславливает корректность при сравнительных оценках их функционирования под влиянием различных природно-климатических условий.

Бассейн р. Мезень относится к районам Крайнего Севера и расположен близ границы умеренного и субарктического климатических поясов, зон тайги и лесотундры, т.е. характеризуется прохладным летом и продолжительной холодной зимой. Преобладают еловые и сосновые леса. Почвы болотные, подзолистые торфянистые глеевые иллювиально-гумусовые суглинистые и песчаные на озерно-ледниковых и флювиогляциальных отложениях, местами подстилаемых моренными суглинками. Иногда встречаются мерзлотные торфяные почвы верховых болот в комплексах с тундровыми почвами.

Бассейн р. Онега относится к области умеренно континентального климата, т.е. присутствует прохладное лето и продолжительная холодная зима при достаточном и избыточном увлажнении. Преобладает лесная растительность, господствующая порода из хвойных лесов — ель (*Picea obovata*), к которой примешиваются сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris*) и береза (*Betula pendula*). Почвенный покров представлен подзолистыми и болотно-подзолистыми контактно-глееватыми песчаными и супесчаными почвами на двучленных отложениях с близким залеганием коренных карбонатных и кристаллических пород.

Бассейн р. Клязьмы расположен на территории с умеренно континентальным климатом с теплым летом, умеренно холодной зимой и ярко выраженными переходными сезонами. Растительный покров территории бассейна представлен двумя основными типами растительности: бореальный (в северной части) и неморальный (в центральной и юго-восточной частях). Растительность носит сме-

шанный характер. Леса занимают более 50% площади бассейна. Почвы Среднерусской провинции дерново-подзолистые среднегумусированные. Супесчаные и песчаные, средне- и слабоподзолистые глеевые и глееватые почвы на древнеаллювиальных и флювиогляциальных отложениях, местами подстилаемых доренными суглинками и болотные торфяные почвы характерны для полей Мещеры. Дерново-подзолистые песчаные, суглинистые и глинистые почвы возвышенностей. Серые лесные глинистые и тяжелосуглинистые почвы на слабокарбонатных покровных отложениях характерны для Владимирского ополья.

Бассейн р. Воронеж расположен в зоне умеренного климата. Зима умеренно морозная, как правило, с устойчивым снежным покровом, который образуется только в январе—феврале. Исторические широколиственные леса сильно вырублены и встречаются лишь небольшими перелесками по оврагам и небольшими рощицами среди полей. Почвы — среднерусские типичные мощные и среднемоштные тучные черноземы оподзоленные, выщелоченные, среднегумусные и лугово-черноземные, и темно-серые и серые лесные на глинистых и тяжелосуглинистых лёссовидных породах с пятнами осолоделых, солонцеватых и засоленных почв по западинам.

Бассейн р. Сал. Климат умеренно континентальный, степной. Степи объединяют сообщества ксерофильных дерновинных травянистых растений. Остепненные луга более мезофитны, в них преобладают луговые виды — преимущественно корневищные злаки. Бассейн расположен на стыке двух почвенных зон: черноземной и каштановой. Черноземы средние и маломощные малогумусные на глинистых и лёссовидных суглинках и глинах. На востоке преобладают почвы каштанового и темнокаштанового типа солонцеватые тяжелосуглинистые и глинистые в комплексах с солонцами.

Бассейн р. Самара. Климат умеренно континентальный. От севера к югу выражено проявляются черты континентального засушливого климата. В заволжских лесостепях появляется целый ряд степных видов восточной ориентации. Почвенный покров представлен серыми лесными почвами, выщелоченными, типичными и южными черноземами, каштановыми почвами, а также солонцами и солончаками. Черноземы обыкновенные, в том числе остаточные карбонатные, среднемоштные, мало- и среднегумусные и лугово-черноземные глинистые и суглинистые на элюво-делювиальном основании коренных пород и на древних аллювиальных отложениях.

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Комплексом наземных и дистанционных данных, полученных с помощью космоснимков (Мо-

dis), проведена оценка почвенно-продукционного потенциала.

Оценка продукционного потенциала растительности по дистанционно определяемым индексам LAI (листовой индекс) и FPAR (индекс, отражающий количество поглощенной растениями радиации при фотосинтезе). Эти показатели представляют собой биофизические параметры, описывающие структуру растительного покрова и скорость проходящего в нем энергомассообмена.

LAI — площадь листовой поверхности (с одной стороны листа) на единицу площади территории — характеризует структуру растительного покрова и может трактоваться как показатель первичной продукции экосистемы.

FPAR указывает на долю радиации в фотосинтетически активном диапазоне волн (0.400–0.700 мкм), поглощаемую растительным покровом. Индексы LAI и FPAR рассчитывали в программном комплексе ArcGis по июльским космоснимкам (Modis) 2005, 2010 и 2015 гг. Данные космоснимков пересчитывали и усредняли для территории речных бассейнов с использованием функций модуля Spatial analyst.

Методы анализа временных рядов данных. Анализ изменения показателей почвенно-продукционного потенциала и его отдельных параметров за период 2005–2015 гг. проводили с использованием статистических методов по динамике временных рядов, что позволило проследить как изменяются уровни ряда в абсолютном и относительном выражении. Для выявления направления и размеров изменений уровней во времени для рядов динамики рассчитывали следующие показатели: абсолютные изменения, относительные изменения. В качестве индекса динамики (I) параметров почвенно-продукционного потенциала использовали среднее относительное изменение, которое рассчитывали по уравнению:

$$I = \sqrt[r]{\frac{Y_n}{Y_1}}$$

где Y_1 — первое значение ряда; Y_n — n -ое значение ряда; $K = n - 1$ — количество изменений уровней ряда ($r = 1 \dots K$).

Значение индекса динамики < 1 — демонстрирует рост показателя, > 1 — уменьшение; показатель, равный 1, характеризует стабильность ситуации.

Оценка почвенно-продукционного потенциала с использованием дистанционных и наземных данных. Нами предложен показатель почвенно-продукционного потенциала, который характеризует способность природной или природно-антропогенной экосистем воспроизводить фитопродукцию в определенных почвенно-климатических условиях. Для оперативной и обобщающей характеристики почвенно-продукционного потен-

циала целесообразно использование материалов дистанционного зондирования, что позволяет существенно повысить динамичность и достоверность проведения мониторинговых работ.

Почвенно-продукционный потенциал является важнейшим фактором, обеспечивающим прирост фитомассы естественных экосистем и количество биологических ресурсов территории. Он зависит от многих факторов: естественного плодородия, структуры землепользования, агрохимических свойств почвы, климата и т.д. Для его характеристики выбраны наиболее важные на наш взгляд показатели.

В качестве дистанционного параметра для оценки почвенно-продукционного потенциала использовали индекс поглощенной растительностью радиации при фотосинтезе FPAR, рассчитываемый для конкретных речных бассейнов по данным спутниковой системы Modis.

Наземные параметры включают следующие данные: наиболее значимый показатель почвенного плодородия — запас гумуса в метровом слое (т/га) (Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2015620431); климатические характеристики — сумма биологически активных температур $\sum(t > 10^\circ\text{C})$, количество осадков за период, для которого рассчитывается индекс FPAR за основные месяцы активной вегетации растений (май–июль) (<https://rp5.ru>).

Почвенно-продукционный потенциал (ППП) рассчитывали для каждого года в ряду наблюдений (2005–2015) по предложенной формуле:

$$\text{ППП} = \left(\frac{F}{F_{\max}} + \frac{r}{r_{\max}} + \frac{\sum(t > 10)}{t_{\max}} + \frac{K}{K_{\max}} \right),$$

где F — индекс поглощенной растительностью при фотосинтезе радиации (FPAR); r — запас гумуса в почве, т/га в слое 1 м; $\sum(t > 10)$ — сумма температур выше 10°C ; K — количество осадков за период с апреля по июль. В качестве максимальных значений параметров (F_{\max} , r_{\max} , t_{\max} , K_{\max}) использовали максимальное значение параметра в ряду наблюдений.

Также рассчитывали среднее значение почвенно-продукционного потенциала (ППП_{ср}) для всего анализируемого периода.

Почвенно-продукционный потенциал рассчитывали для территории целого речного бассейна, как единой функционирующей системы, без разделения на угодья. Параметры, входящие в его состав, не имеют привязки к определенным угодьям.

Почвенно-продукционный потенциал позволяет оценить вклад различных факторов окружающей среды в формирование фитопродукции в динамике, а также по средним многолетним значениям. Информативным явилось также сопоставление рассчитанных значений почвенно-продукционно-

Таблица 1. Дистанционные индексы (FPAR и LAI), характеризующие растительный покров ключевых речных бассейнов европейской части РФ (2005–2015)

Бассейн реки	Год	FPAR	LAI	Среднее		Цепное относительное изменение		Индекс динамики 2005–2015	
				FPAR	LAI	FPAR	LAI	FPAR	LAI
Клязьма	2005	0.66	2.42	0.69	2.76	1.00	1.10	1.07	1.14
	2010	0.66	2.67						
	2015	0.76	3.18						
Мезень	2005	0.69	2.10	0.70	2.29	1.00	1.14	1.02	1.06
	2010	0.69	2.4						
	2015	0.72	2.37						
Онега	2005	0.78	3.01	0.75	2.92	0.94	0.97	0.98	0.97
	2010	0.73	2.92						
	2015	0.75	2.83						
Сал	2005	0.31	0.50	0.28	0.52	0.94	1.22	0.86	0.94
	2010	0.29	0.61						
	2015	0.23	0.44						
Самара	2005	0.52	1.49	0.45	1.2	0.67	0.56	0.95	0.92
	2010	0.35	0.84						
	2015	0.47	1.28						
Воронеж	2005	0.72	3.15	0.71	3.15	0.85	1.21	1.05	0.89
	2010	0.61	3.82						
	2015	0.8	2.47						

го потенциала с конкретными показателями фитопродуктивности, определенными наземными (запас фитомассы и продукция) и дистанционными методами (листовой индекс LAI), а также со структурой землепользования в регионе и особенностями антропогенной нагрузки.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Параметры почвенно-продукционного потенциала речных бассейнов разных природных зон

Для анализа данных дистанционного зондирования были рассчитаны значения индекса поглощенной растениями при фотосинтезе радиации FPAR (табл. 1) и составлены карты его распределения в ключевых речных бассейнах на европейской территории РФ. На рис. 1 приведен пример распределения данного индекса в бассейне р. Воронеж. Климатические характеристики бассейнов представлены в табл. 2.

Результаты расчета среднего показателя почвенно-продукционного потенциала (ППП_{ср}) за период с 2005 по 2015 гг. (рис. 2) свидетельствуют о том, что его максимальное значение приходится на бассейн р. Воронеж. Самые низкие значения в бассейнах Мезени, Онеги и Сал. Бассейны рек Самары и Клязьмы занимают промежуточное по-

ложение и имеют примерно одинаковые средние значения.

Бассейны рек Мезени и Онеги находятся в одной таежной природной зоне. Бассейн р. Мезени самый северный из всех ключевых территорий, расположен на границе умеренного и субарктического климатических поясов, зон тайги и лесотундры, т.е. здесь прохладное лето и продолжительная холодная зима, непродолжительный вегетационный период, а средний показатель почвенно-продукционного потенциала минимальный среди всех бассейнов, составляет 1.8.

В этой же зоне тайги, юго-восточнее, расположен бассейн р. Онеги. Его территория относится к области умеренно континентального климата. Следствием этого являются более высокие значения FPAR, суммы биологически активных температур и значения ППП_{ср} (2.31).

Оценка запаса гумуса в метровом слое, с учетом его накопления в торфяных болотах, показала максимальное его содержание в северных речных бассейнах Онеги и Мезени, где большие площади заняты болотами. Однако в итоговом расчете почвенно-продукционного потенциала данные запасы гумуса не учитывались, так как они большей частью не реализуются в виде продукции растительного покрова экосистемы.

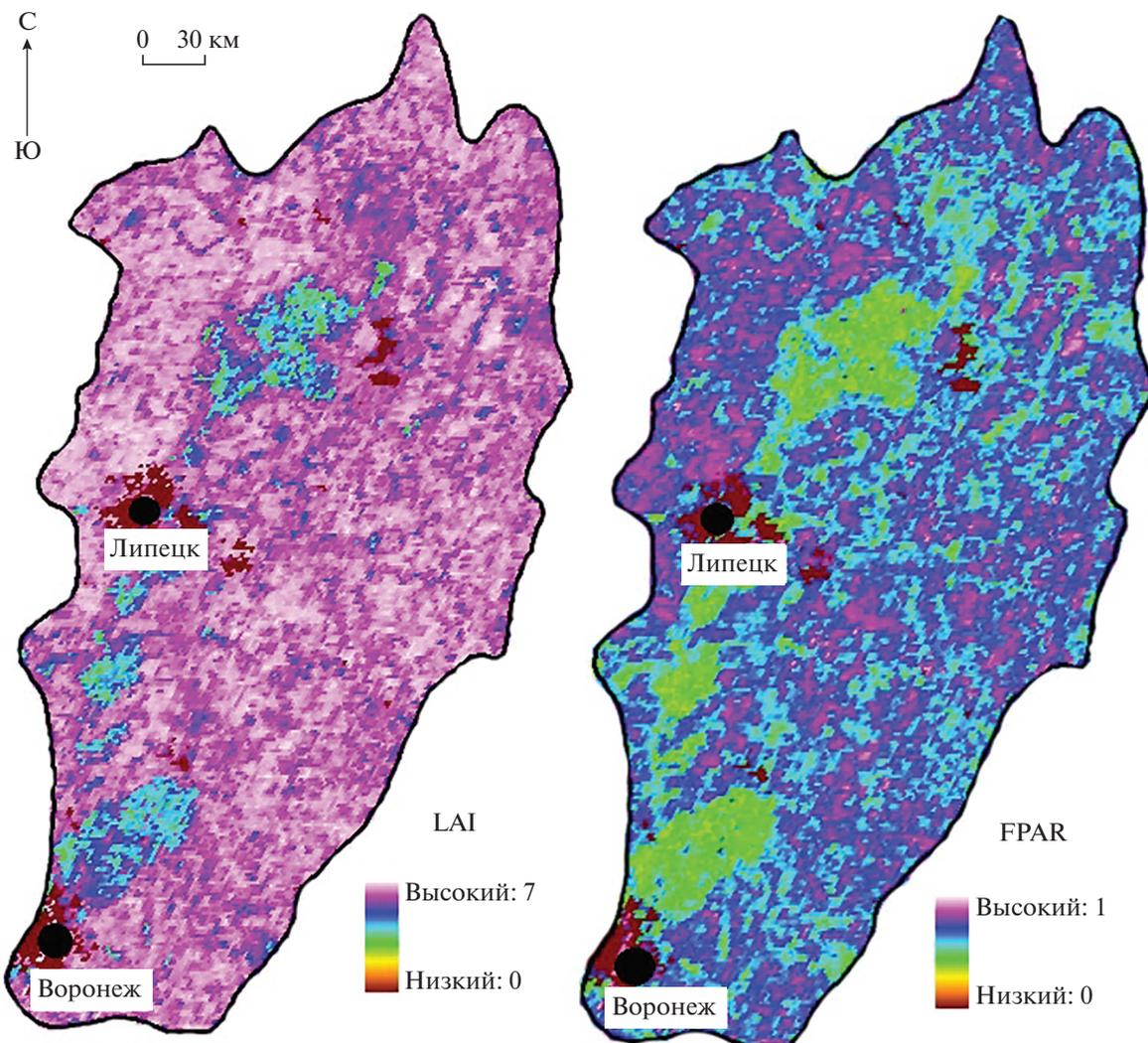


Рис. 1. Распределение листового индекса (LAI) индекса поглощенной растениями фотосинтетически активной радиации (FPAR) в бассейне р. Воронеж (июль, 2010 г.).

Следует отметить, что осадков, в общем, выпадает на территории достаточно (только за трехмесячный период с мая по июль в среднем за 2005–2015 гг. в бассейне Онеги этот показатель составляет 176 мм, в бассейне Мезени – 117 мм), значения поглощенной фотосинтетически активной радиации по сравнению с другими бассейнами – одни из самых высоких. Следовательно, именно низкий температурный показатель является главным фактором, ограничивающим рост почвенно-продукционного потенциала в бассейнах Мезени и Онеги.

Почвенно-продукционный потенциал в бассейне р. Воронеж, расположенном в лесостепной зоне, существенно выше, чем в других (ППП_{ср} 3.3). Из всех сравниваемых речных бассейнов здесь самые плодородные почвы (среднерусские типичные мощные и среднемощные тучные черноземы оподзоленные, выщелоченные, среднегумусные и луго-

во-черноземные, и темно-серые и серые лесные почвы на глинистых и тяжелосуглинистых, лёссовидных породах) и они, в первую очередь, обеспечивают высокий почвенно-продукционный потенциал. Также здесь высокие значения суммы биологически активных температур и поглощенной фотосинтетически активной радиации. Единственный из анализируемых факторов, который отличается нестабильностью и может накладывать ограничение на рост показателя потенциала – это количество осадков.

Бассейны рек Сал и Самара расположены в степной зоне и их почвенно-продукционный потенциал существенно меньше, чем в бассейне р. Воронеж. В бассейне р. Самара его среднее за 2005–2015 гг. значение составляет 2.57, а в бассейне р. Сал – 2.2. В двух бассейнах фиксируются невысокие значения FPAR и небольшое количество

Таблица 2. Климатические характеристики (сумма биологически активных температур ($\Sigma t > 10^\circ\text{C}$) и сумма осадков) ключевых речных бассейнов европейской части РФ (2005–2015)

Бассейн реки	Год	$\Sigma t > 10^\circ\text{C}$	Сумма осадков (апрель–июль)	Среднее		Цепное относительное изменение		Индекс динамики 2005–2015	
				$\Sigma t > 10^\circ\text{C}$	суммы осадков (апрель–июль)	$\Sigma t > 10^\circ\text{C}$	суммы осадков (апрель–июль)	$\Sigma t > 10^\circ\text{C}$	суммы осадков (апрель–июль)
Клязьма	2005	2778.5	268.0	2865.9	236.5	1.13	0.63	0.98	1
	2010	3145.6	169.0						
	2015	2673.5	272.5						
Мезень	2005	1218.9	71.8	1205.6	116.9	1.05	1.23	0.91	1.63
	2010	1284.8	88.5						
	2015	1113.1	190.5						
Онега	2005	2202.8	123.5	2003.1	175.5	0.9	1.03	0.9	1.45
	2010	1978.4	127.0						
	2015	1828.3	276.0						
Сал	2005	3712.5	100.0	3736.2	130.8	1.04	0.93	0.9	1.41
	2010	3872.6	92.9						
	2015	3623.4	199.5						
Самара	2005	2968.3	69.6	3063.4	78.2	1.13	0.32	0.9	1.44
	2010	3355.8	22.0						
	2015	2866.2	143.0						
Воронеж	2005	3044.9	180.0	3215.2	160.7	1.14	0.51	1.03	1.08
	2010	3463.7	91.2						
	2015	3236.9	211.0						

осадков, но есть и отличия в структуре почвенно-продукционного потенциала этих территорий.

Почвенный покров бассейна р. Самара характеризуется высоким содержанием гумуса (второе место после бассейна р. Воронеж). Практически такой же, как в бассейне р. Воронеж, суммой биологически активных температур, в то же время суммарный потенциал оказывается ниже из-за небольшого количества осадков и невысоких показателей поглощенной растительностью радиации (FPAR).

Очень низкий почвенно-продукционный потенциал бассейна р. Сал связан с неблагоприятным сочетанием факторов. Прежде всего, это степной климат. Большую часть года здесь преобладают восточные ветры, несущие в теплый период года суховеи и пыльные бури. Осадков выпадает 400–650 мм в год. Бассейн расположен на стыке двух почвенных зон – черноземной и каштановой. Черноземы средние и маломощные малогумусные на глинистых и лёссовидных суглинках и глинах. Запас гумуса в почвах значительно ниже, чем в бассейне р. Самары и составляет в среднем 198 т/га. Здесь наименее эффективно используется фото-

синтетически активная радиация. Хотя суммарная солнечная радиация этой территории самая высокая среди анализируемых ключевых участков, но коэффициент поглощения растениями фотосинтетически активной радиации низкий, всего 0.28. Высокие значения суммы биологически активных температур в сочетании с небольшим количеством осадков не обеспечивают рост продуктивности.

Бассейн р. Клязьма находится в зоне смешанных лесов и имеет ППП_{ср}, примерно равный таковому в бассейне Самары степной зоны. Для ландшафтов данного бассейна характерна высокая доля поглощенной фотосинтетически активной радиации, благодаря наличию крупных лесных массивов, большое количество осадков, однако плодородие почв существенно хуже, и сумма биологически активных температур ниже по сравнению с ключевыми участками, расположенными в степной и лесостепной зонах.

Таким образом, два речных бассейна Самары и Клязьмы, располагающиеся в разных природных зонах, имеют практически одинаковые значения показателя почвенно-продукционного потенци-

ала, но за счет разных составляющих. В бассейне Клязьмы это обеспечивается хорошими показателями FPAR и количества осадков, а в бассейне Самары – богатыми запасами гумуса и высокой суммой биологически активных температур.

Динамика почвенно-продукционного потенциала в исследуемых речных бассейнах

Динамично изменяющимися показателями в оценке почвенно-продукционного потенциала являются три параметра: значения поглощенной фотосинтетически активной радиации (FPAR), сумма биологически активных температур и количество осадков. Эти параметры могут существенно меняться от года к году, тогда как запас в почве гумуса является более стабильным, и его изменения не оказывают влияния на динамику почвенно-продукционного потенциала в среднесрочной перспективе. Наиболее изменчивым является показатель количества осадков, его индекс за 2005–2015 гг. меняется от 1 до 1.63 в разных бассейнах. Разброс значений индексов динамики FPAR и суммы биологически активных температур примерно одинаков.

Анализ изменений почвенно-продукционного потенциала не выявил значительных его изменений к 2015 г. по сравнению с 2005 г. в большинстве речных бассейнов. Однако внутри этого временного промежутка в некоторых бассейнах отмечаются резкие изменения. Исключением является бассейн Мезени, для которого характерен наиболее существенный рост почвенно-продукционного потенциала.

Разброс значений индекса динамики для почвенно-продукционного потенциала меньше, чем для его отдельных составляющих и имеет значения от 1.02 (бассейн Клязьмы) до 1.13 (в бассейне р. Мезень). Следовательно, разнонаправленные колебания отдельных показателей, определяющих почвенно-продукционного потенциала, могут уравнивать друг друга.

Почвенно-продукционный потенциал в бассейне *р. Воронеж* выше, чем в других бассейнах на протяжении всего анализируемого периода. Количество осадков в целом за период среднее, но оно существенно изменяется по годам. Например, в 2015 г. оно было самым высоким за учитываемый промежуток времени (более существенные изменения происходят только в бассейне Самары). В бассейне *р. Воронеж* почвенный покров обеспечивает максимальное значение почвенно-продукционного потенциала, а количество осадков, главным образом, определяет его динамику (индекс динамики осадков 1.08), наряду со значениями FPAR. Сумма биологически активных температур изменяется меньше и, соответствен-

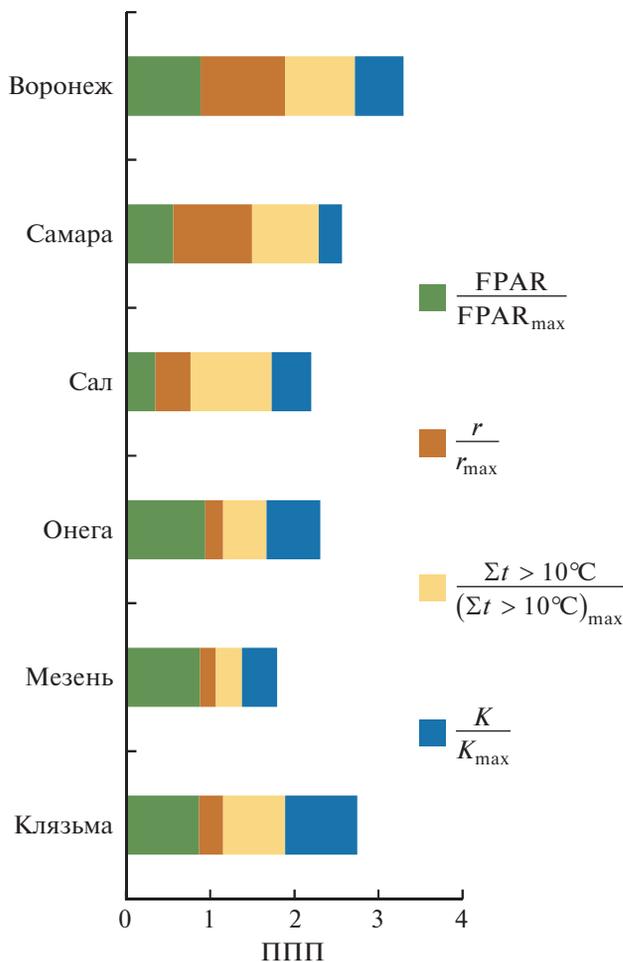


Рис. 2. Почвенно-продукционный потенциал ключевых речных бассейнов (средние значения 2005–2015 гг.).

но, оказывает меньшее влияние на общую динамику почвенно-продукционного потенциала.

Это подтверждается тем, что большое снижение почвенно-продукционного потенциала произошло к 2010 г., когда значительно уменьшилось количество осадков, что сказалось на состоянии растительности, снизилась и доля поглощенной растениями фотосинтетически активной радиации. Сумма биологически активных температур в этот период немного увеличилась.

К 2015 г. продукционный потенциал увеличился, видимо, это, связано с увеличением количества осадков. По остальным параметрам условия 2015 г. самые благоприятные из анализируемого временного ряда. В этот год два показателя здесь имеют максимальные для территории значения: содержание гумуса в почве и значения поглощенной фотосинтетически активной радиации; сумма биологически активных температур также высокая.

Наиболее существенные изменения почвенно-продукционного потенциала в положитель-

ную сторону отмечают в *бассейне Мезени*. Индекс динамики за 10 лет составил 1.13. На изменения почвенно-продукционного потенциала в бассейне оказало влияние, прежде всего, количество осадков и значения фотосинтетически активной радиации, так как сумма биологически активных температур менялись незначительно.

Полученные данные позволяют предположить, какой будет динамика почвенно-продукционного потенциала в условиях изменения климатических параметров. Как уже отмечалось, во всех речных бассейнах за десятилетний период сумма биологически активных температур увеличилась, и только в бассейне Мезени она практически не изменилась.

Можно допустить, что в дальнейшем продукционный потенциал продолжит расти только на тех территориях, где сумма биологически активных температур была ограничивающим фактором, т.е. в бассейнах зоны смешанных лесов, где ключевым участком был бассейн р. Клязьмы. За десятилетний период на его территории отметили тенденцию к небольшому росту почвенно-продукционного потенциала.

В речных бассейнах с недостаточным количеством осадков повышение температуры может привести к снижению потенциала, что мы наблюдаем на анализируемом отрезке времени в речных бассейнах Самары и Воронежа, где на фоне увеличения суммы температур выше 10°C, продукционный потенциал не увеличился, а немного снизился. В бассейне р. Сал почвенно-продукционный потенциал увеличился, но здесь увеличение биологически активных температур сопровождалось повышением количества осадков.

В речных бассейнах таежной зоны рост потенциала ограничен не только низкими температурами, но, прежде всего, невысоким плодородием почвы.

Сравнительный анализ почвенно-продукционного потенциала, параметров продуктивности растительного покрова и структуры землепользования речных бассейнов

Почвенно-продукционный потенциал характеризует разнообразные сочетания наиболее важных естественных факторов, которые влияют на формирование фитопродукции в экосистеме. Однако благоприятные естественные факторы не всегда могут реализоваться в виде продукции, поскольку последняя также зависит и от воздействия комплекса антропогенных факторов. Конкретные показатели фитопродуктивности мы оценивали с помощью наземных и дистанционных методов. Листовой индекс LAI, определяемый по данным дистанционного зондирования, рассматривали как косвенную характеристику ее продуктивности на определенный момент времени

и использовали, в основном, для оценки динамики состояния растительности, так как по наземным данным получение такой информации для больших территории весьма трудоемко. Удельная фитомасса и продукция, рассчитанные по наземным данным, являются более усредненными и описывают состояние растительности за многолетний период [1, 2].

Для определения почвенно-продукционного потенциала и характеристики продукционного состояния растительности речного бассейна используются усредненные для территории значения индекса фотосинтетически активной радиации, поглощенной растениями, и листового индекса. Однако эти индексы отличаются в разных угодьях (пример распределения индексов LAI и FPAR для бассейна р. Воронеж приведен на рис. 1). Анализ вклада отдельных угодий также представляет интерес. Например, значения дистанционных индексов LAI и FPAR для лесной растительности в 2015 г. приведены в табл. 3. Согласно дистанционным индексам, продукционный потенциал лесной растительности максимальный в бассейне р. Онега. Листовой индекс лесов Мезени существенно ниже, чем в бассейне Онеги, что может быть связано с тем, что на территории бассейна р. Мезень много редколесья (табл. 4).

Леса, расположенные на водосборах Клязьмы и Воронежа, имеют примерно одинаковый продукционный потенциал. В бассейне Клязьмы также, как в бассейне Мезени, имеется большое количество редколесья, что ухудшает общий продукционный потенциал лесной растительности.

Мы сопоставили запасы фитомассы и продукцию речных бассейнов, рассчитанные по средним многолетним данным [1, 13], структуру землепользования, значения листового индекса и почвенно-продукционный потенциал (табл. 4, 5).

В бассейне р. *Воронеж* высокие значения почвенно-продукционного потенциала обеспечиваются, главным образом, через аграрную продукцию: площади земель сельскохозяйственного назначения составляют здесь около 80%. Однако, хотя продукционный потенциал речного бассейна и определяется сельскохозяйственной деятельностью, но вклад естественных экосистем здесь существеннее, чем в бассейнах степной зоны за счет высокой продуктивности и накопления большого запаса фитомассы.

Максимальные среди анализируемых объектов значения почвенно-продукционного потенциала соответствуют высоким показателям продуктивности фитомассы, что подтверждается и максимальными за период 2005–2015 гг. значениями LAI, хотя данный показатель здесь не стабилен и, например, в 2015 г. территория бассейна р. Воронеж была на третьем месте после бассейнов Клязьмы и Онеги. Динамика листового индекса демон-

Таблица 3. Значения листового индекса и фотосинтетически активной радиации для речных бассейнов европейской части РФ (2015 г.)

Бассейн реки	FPAR	LAI	FPAR	LAI
	лесная растительность		целый бассейн	
Клязьма	0.68	2.57	0.76	3.18
Мезень	0.72	1.82	0.72	2.37
Онега	0.80	2.79	0.75	2.83
Сал	—	—	0.23	0.44
Самара	0.57	1.79	0.47	1.28
Воронеж	0.67	2.66	0.80	2.47

Таблица 4. Структура землепользования бассейнов европейской части РФ (MODIS Land Cover (MCD12Q1 Product))

Бассейн реки	Общая площадь угодий, тыс. км ²	Угодья, %					
		лесные земли	редколесье и древесно-кустарниковая растительность	луговые	пахотные	заболоченные	прочие
Мезень	77.6	53	39	1	—	7	—
Клязьма	42.7	58	20	6	15	—	1
Онега	56.0	83	9	1	—	6	1
Сал	20.3	—	—	62	38	—	—
Самара	47.1	3	1	7	88	—	1
Воронеж	19.4	8	2	5	83	—	2

Таблица 5. Продуктивность речных бассейнов европейской части РФ

Бассейн реки	Удельная фитомасса, т/га	Продукция, т/(га год)	Среднее значение LAI (2005–2015)
Клязьма	293.5	11.56	2.76
Мезень	122.27	5.75	2.29
Онега	190.25	5.96	2.92
Сал	9.61	8.30	0.52
Самара	16.05	15.81	1.20
Воронеж	116.91	20.66	3.15

стирует ухудшение состояния растительности к 2015 г. по сравнению с 2010 г., когда отмечался рост. Индекс динамики LAI показывает, что листовый индекс в бассейне р. Воронеж снизился больше, чем в остальных бассейнах. За аналогичный период уменьшился и почвенно-продукционный потенциал. Следовательно, в данном бассейне в целом самое благоприятное сочетание факторов, обеспечивающих продукционный потенциал, но состояние растительности характеризуется нестабильностью. Следует полагать, что здесь существенна роль хозяйственной деятельности человека.

Оценка структуры землепользования показывает, что наибольшую сельскохозяйственную нагрузку испытывают бассейны рек степной зоны (*бассейны рек Сал и Самары*). В этих бассейнах почвенно-продукционный потенциал территории реализуется, в основном, в виде сельскохозяйственной продукции. Поскольку основная площадь этих бассейнов занята сельскохозяйственными угодьями, то антропогенное воздействие и состояние этих угодий являются определяющими факторами формирования почвенно-продукционного потенциала территории. Естественные фитоце-

нозы здесь оказывают минимальное влияние на продуктивность и накопление фитомассы в бассейне. Продукция естественных экосистем в бассейне Сал низкая (8.30 т/га в год), запас фитомассы самый невысокий из всех ключевых участков (9.61 т/га), что соответствует самому низкому значению листового индекса (LAI 0.52), и за весь период наблюдений он в этом бассейне ниже, чем в остальных. В бассейне Самары продукция естественных экосистем высокая (15.8 т/га в год), но их вклад не велик по причине небольшой площади. Динамика листового индекса показывает тенденцию к ухудшению состояния растительного покрова обоих бассейнов.

В бассейне Клязьмы отмечены средние значения показателя продукции, значения LAI – на третьем месте после Воронежа и Онеги, а для накопления фитомассы здесь складываются наиболее благоприятные условия. Запас фитомассы в бассейне Клязьмы составляет 293.3 т/га, это самое высокое значение среди исследуемых участков. Основной вклад в формирование фитомассы вносят леса, они занимают около 39% от территории всех угодий, кроме того, по причине зарастания сельскохозяйственных угодий эти площади увеличиваются, соответственно усиливаются фотосинтетические процессы, идет накопление фитомассы в бассейне. Накоплению лесной фитомассы способствуют и благоприятные климатические условия. С 2005 по 2015 гг. продукционные возможности растительности улучшаются, что показывает индекс динамики LAI, который имеет значение больше единицы (1.14). В остальных бассейнах этот индекс ниже. Индекс динамики почвенно-продукционного потенциала немного выше единицы. Следовательно, по комплексу параметров, составляющих почвенно-продукционный потенциал и характеризующих состояние растительного покрова в бассейне Клязьмы на протяжении 10 лет (2005–2015), сложилась стабильная ситуация, и не выявляются негативные тенденции.

В бассейнах рек Мезень и Онега динамика листового индекса не отражает негативных изменений состояния растительности. Площади, занятые сельскохозяйственными угодьями, минимальные. Лесные угодья здесь преобладают в структуре землепользования, они вносят основной вклад в формирование листового индекса.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Для оценки состояния почвенных и растительных ресурсов территории был использован показатель почвенно-продукционного потенциала, рассчитываемый по наземным и дистанционным данным, а также показатели запаса фитомассы, данные о продукции фитоценозов и структуре землепользования, листового индекса LAI (по снимкам

Modis). Показано, что экосистемы речных бассейнов, расположенные в разных природно-климатических зонах, по-разному реагируют на изменения климатических параметров.

1. Максимальные среди анализируемых объектов значения почвенно-продукционного потенциала в бассейне р. Воронеж (ППП_{ср} = 3.3) соответствуют высоким показателям продуктивности фитомассы, что подтверждается и максимальными за период 2005–2015 гг. значениями LAI. Динамика листового индекса демонстрирует ухудшение состояния растительности к 2015 г.

2. Речные бассейны, расположенные в различных природных зонах и отличающиеся структурой земельной угодий, могут иметь одинаковый почвенно-продукционный потенциал, но который обеспечивается различными его составляющими. Самые низкие его значения отмечаются в бассейнах северных рек (Мезени, Онеги) и южной реки (Сал).

Почвенный покров бассейнов рек Мезени и Онеги одинаково беден гумусом; осадков выпадает на территории достаточно, однако значения поглощенной фотосинтетической активной радиации по сравнению с другими бассейнами наиболее высокие, следовательно, именно температурный показатель является главным фактором, ограничивающим рост почвенно-продукционного потенциала. В бассейне р. Сал, расположенном в степной зоне, отмечается неблагоприятное сочетание высокой суммы биологически активных температур и малого количества осадков, что значительно снижает продуктивность этой экосистемы.

3. Два речных бассейна Самары и Клязьмы, располагающиеся в разных природных зонах, имеют сходные значения показателя почвенно-продукционного потенциала, но за счет разных составляющих. В бассейне Клязьмы это высокие показатели FPAR и количество осадков, а в бассейне Самары – запас гумуса и сумма биологически активных температур.

4. Анализ значений почвенно-продукционного потенциала не выявил значительных изменений к 2015 г. по сравнению с 2005 г. во всех исследованных бассейнах. Однако внутри этого временного промежутка в некоторых бассейнах отмечаются резкие изменения. Наиболее существенный рост показателя отмечается в бассейне р. Мезень.

5. Для накопления фитомассы наиболее благоприятные условия складываются в бассейне Клязьмы. С 2005 по 2015 гг. продукционные возможности растительности здесь улучшаются, на что указывает индекс динамики LAI, который имеет значение больше единицы.

6. При прогнозировании трансформаций различных экосистем при изменении климата необходимо анализировать динамику всех природно-

климатических параметров, поскольку различное их сочетание может приводить к неоднозначным результатам.

Полученные нами данные позволяют предположить, какой будет динамика почвенно-продукционного потенциала в условиях повышения температуры в результате возможного глобального изменения климата. Можно допустить, что в дальнейшем продукционный потенциал продолжит увеличиваться только на тех территориях, где сумма биологически активных температур была ограничивающим фактором, т.е. в бассейнах зоны смешанных лесов, где ключевым участком был бассейн р. Клязьмы.

В речных бассейнах с недостаточным количеством осадков повышение температуры приведет к снижению потенциала, что наблюдаем на анализируемом отрезке времени в речных бассейнах Самары и Воронежа. В речных бассейнах таежной зоны рост потенциала ограничен не только низкими температурами, но, прежде всего, невысоким плодородием почвы.

ФИНАНСИРОВАНИЕ РАБОТЫ

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ № 19-05-00363.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Базилевич Н.И.* Биологическая продуктивность экосистем северной Евразии. М.: Наука, 1993. 293 с.
2. *Базилевич Н.И., Гребенников О.С., Тишков А.А.* Географические закономерности структуры и функционирования экосистем. М.: Наука, 1986. 237 с.
3. *Белов А.В., Соколова Л.П.* Экологический потенциал растительности как фактор природопользования в Байкальской Сибири // География и природ. ресурсы. 2014. № 3. С. 53–60.
4. *Исаченко А.Г.* Интенсивность функционирования и продуктивность геосистем // Известия РАН. Сер. географическая. 1990. № 5. С. 5–17.
5. Карта почвенно-экологического районирования Восточно-Европейской равнины. М 1 : 2500000. М., 1997.
6. *Королюк Т.В., Щербенко Е.В.* Распознавание почвенного покрова лесостепных ландшафтов по материалам разносезонной многозональной съемки // Почвоведение. 2003. № 3. С. 275–288.
7. *Кренке А.Н., Пузаченко М.Ю., Пузаченко Ю.Г.* Уточнение содержания тематических карт на основе данных дистанционного зондирования // Изв. РАН. Сер. геогр. 2011. № 4. С. 86–96.
8. *Кузьменко Е.И., Максюттов Ш., Владимиров И.Н.* Использование ландшафтной карты для оценки продуктивности геосистем южной тайги Западной Сибири // География и природ. ресурсы. 2013. № 3. С. 143–151.
9. *Кумачева В.Д., Назаренко О.Г.* Оценка продуктивности растительности в степных агроландшафтах с различной антропогенной нагрузкой // Экология и биология почв: Материалы Междунар. науч. конф., Ростов-на-Дону, 21–22 апр., 2005. Ростов-на-Дону: Ростиздат, 2005. С. 251–255.
10. *Люри Д.И.* Долговременная динамика продуктивности лесостепных ландшафтов: двухсотлетняя история и прогноз // Экологические и социально-экономические аспекты развития России в условиях глобальных изменений природной среды и климата. М.: ГЕОС, 1997. С. 43–62.
11. *Мишон В.М.* Река Воронеж и ее бассейн: ресурсы и водно-экологические проблемы. Воронеж: ВГУ, 2000. 294 с.
12. *Мищенко Н.В., Трифонова Т.А.* Оценка состояния почвенно-растительного покрова методами геоинформационного анализа. Владимир: ВлГУ, 2007. 92 с.
13. Продуктивность экосистем северной Евразии [Электронный ресурс]. <http://biodat.ru/db/prod/index.htm> (дата обращения 20.08.2016).
14. *Пузаченко М.Ю., Пузаченко Ю.Г., Козлов Д.Н., Федяева М.В.* Картографирование мощности органо-генного и гумусового горизонтов лесных почв и болот южнотаежного ландшафта (юго-запад Валдайской возвышенности) на основе трехмерной модели рельефа и дистанционной информации (Landsat-7) // Исследование Земли из космоса. 2006. № 4. С. 70–79.
15. Ресурсы поверхностных вод СССР: Гидрологическая изученность. Т. 7. Донской район / Под ред. Мордухай-Болтовского Д.Д. Л.: Гидрометеоздат, 1964. 267 с.
16. *Романовский М.Г., Федорова А.И., Абиссаломова О.В.* Продуктивность и листовой полог нагорных дубрав южной лесостепи // Вестник ВГУ. Сер. География. Геоэкология. 2005. № 2. С. 90–97.
17. *Смирнова Л.Г., Чендев Ю.Г., Кухарук Н.С., Нарожная А.Г., Кухарук С.А., Смирнов Г.В.* Изменение почвенного покрова в связи с короткопериодическими климатическими колебаниями // Почвоведение. 2019. № 7. С. 773–780. <https://doi.org/10.1134/S0032180X19070116>
18. *Сурин В.Г., Шубина М.А.* Мониторинг состояния природно-техногенных комплексов по космическим снимкам // Оптич. журн. 2006. № 4. С. 88–92.
19. *Трифорова Т.А., Мищенко Н.В.* Почвенно-продукционный потенциал экосистем речных бассейнов на основе наземных и дистанционных данных. М.: ГЕОС, 2013. 271 с.
20. *Трифорова Т.А., Мищенко Н.В.* Оценка почвенно-продукционного потенциала речных бассейнов с использованием данных дистанционного зондирования // География и природные ресурсы. 2016. № 3. С. 17–25.
21. *Трифорова Т.А., Ширкин Л.А., Мищенко Н.В.* Моделирование стационарных состояний системы фитоценоз почва (на примере бассейна р. Клязьма) // Почвоведение. 2012. № 8. С. 889–898.
22. *Уткин А.И.* Биологическая продуктивность лесов (методы изучения и результаты) // Лесоведение и лесоводство. М., 1975. С. 9–189.

23. Федеральный портал. URL: http://protown.ru/information/hidden/hidden_2487.html
24. Чалиев А.А. Расчет рядов динамики. Учебные пособия по статистике. 2016. [Электронный ресурс] <http://chaliyev.ru/statistics/ryady-dynamiki.php>
25. Bateni S.M., Entekhabi D., Margulis S., Castelli F., Ker-goat L. Coupled estimation of surface heat fluxes and vegetation dynamics from remotely sensed land surface temperature and fraction of photosynthetically active radiation // *Water Resources Research*. 2014. V. 50. № 11. P. 8420–8440. <https://doi.org/10.1002/2013wr014573>
26. Dong T., Meng J., Wu B., Shang J., Liu J., Huffman T. Modified vegetation indices for estimating crop fraction of absorbed photosynthetically active radiation // *Int. J. Remote Sens.* 2015. V. 36. № 12. P. 3097–3113. <https://doi.org/10.1080/01431161.2015.1042122>
27. Elham Davoodi, Hoda Ghasemieh, Okke Batelaan, Khodayar Abdollahi. Spatial-temporal simulation of LAI on basis of rainfall and growing degree days // *Remote Sens.* 2017. V. 9. № 12. P. 1–17. <https://doi.org/10.3390/rs9121207>
28. Gao Zh., Liu J., Cao M., Li K., Tao B. Impacts of land-use and climate changes on ecosystem productivity and carbon cycle in the cropping-grazing transitional zone in China // *Sci. China. Series D*. 2005. V. 48. № 10. P. 1479–1491.
29. Hirofumi Hashimoto, Weile Wang, Cristina Milesi, Michael A. White, Sangram Ganguly, Minoru Gamo, Ryuchi Hirata, Ranga B. Myneni and Ramakrishna R. Nemani Exploring Simple Algorithms for Estimating Gross Primary Production in Forested Areas from Satellite Data // *Remote Sens.* 2012. V. 4. P. 303–326. <https://doi.org/10.3390/rs4010303>
30. Huttich C., Herold M., Schmullius C., Egorov V., Bartalev S.A. SPOT-VGT NDVI and NDWI trends 1998–2005 as indicators of recent land cover change processes in Northern Eurasia // *Proceeding of the 2nd Workshop of the EARSEL SIG on Land Use and Land Cover*, Bonn, 28–30 September. Bonn, 2006. P. 336–344.
31. Laidler G.J., Treitz P.M., Atkinson D.M. Remote sensing of arctic vegetation: relations between the NDVI, spatial resolution and vegetation cover on Boothia Peninsula, Nunavut // *Arctic*. 2008. V. 61. № 1. P. 1–13.
32. Liu Z., Wu C., Wang S., Peng D., Gonsamo A., Fang B., Yuan W. Improved modeling of gross primary production from a better representation of photosynthetic components in vegetation canopy // *Agricultural and Forest Meteorology*. 2017. V. 233. P. 222–234. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2016.12.001>
33. Majasalmi T., Rautiainen M., Stenberg P. Modeled and measured FPAR in a boreal forest: validation and application of a new model // *Agricultural and Forest Meteorology*. 2014. V. 189–190. P. 118–124. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2014.01.015>
34. MODIS/Terra Leaf Area Index/FPAR 8-day L4 Global 1km ISIN Grid. <http://edcdaac.usgs.gov/modis/mod15a2.html>
35. Serbin S.P., Gower S.T. Spatial and temporal validation of the modis LAI and FPAR products across a boreal forest wildfire chronosequence // *Remote Sensing of Environment*. 2013. V. 133. P. 71–84. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2013.01.022>

Dynamics of Soil-Productive Potential of River Basin Ecosystems Functioning in Different Climatic Conditions Assessed Basing on Remote Sensing Data

T. A. Trifonova^{1,2,*}, N. V. Mishchenko², and J. D. Petrosyan²

¹Lomonosov Moscow State University, Moscow, 119991 Russia

²Stoletovs Vladimir State University, Vladimir, 600000 Russia

*e-mail: tatrifon@mail.ru

To assess the state of soil and plant resources of the territory of several river catchments, the indicator of soil-productive potential (Fraction of Absorbed Photosynthetically Active Radiation based on ground and remote data, FPAR), as well as indicators of phytomass reserve, data on phytocenosis production and land use structure, leaf index (LAI) were used. It is shown that ecosystems of river basins located in different climatic zones react ambiguously to climate change. The data obtained make it possible to forecast the dynamics of soil-productive potential in the conditions of changes in climatic characteristics such as temperature and precipitation. It is shown that the productive potential continues to grow with time only in those areas where the amount of biologically active temperatures is a limiting factor, i.e. in the basins of mixed forests zone. It is found that in river basins with limited precipitation, the temperature increase will lead to a decrease in soil productive potential.

Keywords: climate parameters, remote sensing data, leaf area index (LAI), fraction of absorbed photosynthetically active radiation (FPAR), climate change