

## РЕГИОНАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

УДК 556.168

ГЕОИНФОРМАЦИОННЫЙ АНАЛИЗ ХОЗЯЙСТВЕННОГО ОСВОЕНИЯ  
БАССЕЙНА РЕКИ ДОНС.С. Шинкаренко<sup>1</sup>, Н.А. Ткаченко<sup>2</sup>, В.Г. Юферев<sup>3</sup><sup>1-3</sup> ФГБНУ «Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения  
Российской академии наук»<sup>1</sup> Науч. сотр., канд. с.-х. наук; e-mail: [shinkarenkos@yofanc.ru](mailto:shinkarenkos@yofanc.ru)<sup>2</sup> Науч. сотр., канд. с.-х. наук; e-mail: [natulyat@mail.ru](mailto:natulyat@mail.ru)<sup>3</sup> Зав. лабораторией, гл. науч. сотр., д-р с.-х. наук; e-mail: [vyuferev1@rambler.ru](mailto:vyuferev1@rambler.ru)

Статья посвящена анализу хозяйственной освоенности водосбора р. Дон с использованием статистических материалов, данных дистанционного зондирования Земли из космоса и геоинформационных технологий. Источниками являлись данные официальной государственной статистики, а также информационные продукты типов земного покрова Global Land Cover разрешением 30 м и продукт Европейского космического агентства CCI Land Cover разрешением 250 м. Авторами разработана отраслевая геоинформационная система, которая содержит сведения об основных типах подстилающей поверхности, посевных площадях, валовых сборах и урожайности сельскохозяйственных культур в бассейне в разрезе 43 расчетных водохозяйственных участков, восьми укрупненных водохозяйственных участков, 276 муниципальных районов, 15 субъектов Российской Федерации и трех областей Украины. Установлено повышение величин посевных площадей и валовых сборов культур, что приводит к повышению расходов почвенной влаги на транспирацию. В северо-западной части бассейна, для которой характерно снижение модуля поверхностного и рост модуля подземного стока, определено существенное преобладание яровых культур над озимыми (примерно 60% против 40%). Зяблевая пахота, необходимая перед севом яровых культур, снижает поверхностный сток и усиливает фильтрацию. Тенденции развития сельского хозяйства в бассейне направлены на увеличение посевных площадей, массы вносимых минеральных и органических удобрений и соответствующий рост валовых сборов основных культур (в первую очередь зерна, сахарной свеклы, картофеля). По официальным данным посевная площадь в российской части бассейна составляет около 17 млн га против 30–34 млн га по данным ДЗЗ. Площадь лесов в бассейне составляет около 2,8 млн га, а урбанизированных территорий – 1,4 млн га, или 3,2%. Актуальные данные о земной поверхности должны использоваться при моделировании и анализе водного баланса водосборов р. Дон и его притоков.

**Ключевые слова:** дистанционное зондирование, поверхностный сток, землепользование, водные ресурсы

## ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время на фоне климатических изменений наблюдается существенное сокращение весеннего стока р. Дон при увеличении меженного (подземного) стока [Киреева, Фролова, 2013]. Это связано с ростом увлажнения, числа оттепелей и другими следствиями изменений климата [Dzhamalov et al., 2013]. В то же время антропогенный фактор также вызывает изменения величин стока и особенностей его сезонного распределения [Georgiadi et al., 2019]. Период маловодья на Дону ведет к усилению экологических и водохозяйственных проблем [Болгов и др., 2019]. По сравнению с началом XX в. площадь трансформированных территорий в мире выросла втрое, поэтому сток в боль-

шинстве регионов не является естественным [Коронкевич, Мельник, 2019; Koronkevich et al., 2019].

Кроме природных факторов, сток Дона определяется комплексом антропогенных, включая прямые и косвенные. В бассейне реки создано 43 водохранилища (включая территорию Украины). Анализ динамики суммарного забора воды в бассейне за 1991–2014 гг. свидетельствует о его снижении в 2,2 раза, при этом практически все снижение достигнуто за счет уменьшения забора воды из поверхностных источников. Потребление воды в бассейне из поверхностных водных объектов и последующий сток в речную сеть в основном приходится на промышленное водоснабжение и орошаемое земледелие (83%). Забор воды на хозяйствен-

но-питьевые цели возрос в 1,7 раза, затраты воды на орошение сокращаются и не превышают 10% [Джамалов и др., 2017]. Кроме прямого изъятия воды и регулирования распределения водных ресурсов на сток оказывается косвенное влияние через изменение ландшафтов [Barabanov et al., 2018; Гельфан, Морейдо, 2014; Dzhamalov et al., 2013; Коронкевич, Долгов, 2019; Koronkevich et al., 2019]. Тотальная распашка земель в СССР, затем сокращение посевных площадей из-за ухудшения социально-экономической ситуации в 1990-х гг. и вновь вовлечение пашни в оборот в современных условиях, использование минеральных и органических удобрений, сток биогенов с пастбищ и животноводческих ферм приводят к количественному и качественному изменению поверхностного и подземного стока, в том числе талого [Коронкевич и др., 2018].

Под хозяйственным освоением территории традиционно понимают ее включение в хозяйственную деятельность и заселенность людьми, которые, как правило, в наибольшей мере связаны с ее производственно-ресурсным потенциалом. Оценка уровня освоенности территории – сложная и дискуссионная проблема, к решению которой можно подходить с принципиально различных позиций. При оценке освоенности территории в региональных масштабах важнейшим признаком служит доля обрабатываемых земель в общей площади региона.

Актуальных данных по хозяйственному освоению территории водосборов бассейна Дона практически нет. В схеме комплексного использования и охраны водных объектов (СКИОВО) указаны только физико-географические условия и приводится характеристика особо охраняемых природных территорий (ООПТ) [Схема комплексного использования..., 2014]. Использование геоинформационных технологий и данных дистанционного зондирования широко распространено для моделирования стока, в том числе талого, и оценки антропогенной преобразованности ландшафтов [Kuchment et al., 2011; Рулев и др., 2017; Egmolaev et al., 2014]. У такого подхода есть ряд преимуществ. Большая часть статистической информации предоставляется в разрезе субъектов (бассейн расположен на территории 15 субъектов Российской Федерации и трех областей Украины), поэтому сложно выделить только ту часть информации, которая относится непосредственно к водосборной площади Дона. Пространственный анализ позволяет сгруппировать статистику на уровне муниципальных образований по их вхождению в площадь того или иного водосбора. Исследование [Киреева и др., 2018] показало, что в северной части бассейна Дона объемы потерь воды, обусловленные хозяйственной деятельностью человека, не превышают 5–7%. В то же время водный

режим реки Дон и ее притоков может существенно отличаться в разных частях бассейна, поэтому важно оценить степень хозяйственного освоения всего бассейна.

Целью данного исследования является определение современного уровня антропогенного освоения водосборных площадей бассейна Дона в разрезе водохозяйственных участков. В дальнейшем это позволит сопоставить водохозяйственные балансы, характеристики стока и особенности ландшафтной структуры водосборов и выявить закономерности ее влияния на сток.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

В результате работ была создана геоинформационная система (ГИС) хозяйственного освоения бассейна, содержащая сведения из официальных статистических источников, данных дистанционного зондирования и различных информационных тематических продуктов. В качестве источника данных границ муниципальных образований и субъектов использованы соответствующие слои OpenStreetMaps (<https://nextgis.ru/services/dataosm/>), скорректированные согласно документам территориального планирования на 2017 г. Муниципальные образования были сгруппированы по водохозяйственным участкам на основе пространственной принадлежности центроидов полигонов – границ муниципальных образований (районов, городов, городских округов, сельских и городских поселений, сельсоветов). Водохозяйственные участки (ВХУ) приводятся согласно форме 2.3-гвр, границы участков в формате shapefile были предоставлены ФГБУ РосИНВХЦ.

Структура подстилающей поверхности в бассейне определялась по данным Global Land Cover (GLC30) [Chen et al., 2014], Land Cover CCI [Land Cover CCI..., 2017] и USGS Land Cover Classification System [USGS..., 2020], которые имеют разрешение 30, 300 и 400 м соответственно [Chen et al., 2014; Land Cover CCI..., 2017; Hua et al., 2018; James et al., 1976]. Эти информационные продукты основаны на автоматизированных алгоритмах обработки мультивременных композитов, сезонных серий или многолетних данных дистанционного зондирования Landsat [Chen et al., 2014] или MODIS [Land Cover CCI..., 2017]. Для работы данные были перепроецированы и преобразованы в векторные тематические слои ГИС. Это позволило подсчитать площади разных категорий земель, а пересечение слоев землепользования слоем-маской границ водохозяйственных участков дало возможность определения площадей в разрезе ВХУ. Такой подход уже применялся авторами для анализа пастбищных

ресурсов в Волгоградской области и показал приемлемый результат [Шинкаренко и др., 2019; Юфев и др., 2010]. Данные GLC30 содержат 10 категорий земного покрова на 2010 г., в бассейне Дона представлены шесть из них, легенда модели USGS включает 24 пункта (в пределах бассейна – 15) на 2000–2004 гг. Для удобства они были объединены в десять групп, легенда Land Cover CCI состоит из 36 пунктов, 19 представленных в бассейне категорий были объединены в десять. Продукт Land Cover CCI обновляется ежегодно с 1992 г., в работе использовались данные на 1992 и 2018 гг. Использованные информационные продукты типов земного покрова достаточно широко применяются для анализа состояния водосборов и его влияния на закономерности стока, например водосбора реки Йом в Таиланде [Chirachawala et al., 2020], водохранилища Оваби в Гане [Osei et al., 2019] и озера Палас Тузла в Турции [Azgin, Dadaser-Celik, 2020]. Также данные динамики земного покрова служат основой для разработки прогнозов и моделирования антропогенной нагрузки на территорию [Guidigan et al., 2019; Li et al., 2018].

Также по ВХУ были просуммированы статистические показатели посевных площадей, валовых сборов, урожайности различных культур, сведения о поголовье скота, городском и сельском населении, внесении удобрений, числе источников теплоснабжения, количестве населенных пунктов, в том числе не имеющих водопровода и / или канализации за 2012–2018 гг., согласно сведениям базы данных муниципальных образований [База данных..., 2020]. В указанной базе данных доступны также данные за 2008–2011 гг., однако они приведены не по всем субъектам и районам, поэтому в анализе не использовались. Сведения о валовых сборах и внесении удобрений за 1995–2017 гг. приводятся согласно ежегодникам «Регионы России: социально-экономические показатели». Для территории Украины приводятся только сведения по данным дистанционного зондирования, так как официальные статистические сборники не содержат достаточной информации.

Проведение водохозяйственных расчетов по календарным рядам восстановленного стока для оценки обеспеченности водными ресурсами населения и объектов экономики бассейна на современном уровне развития водохозяйственного комплекса предполагает при подготовке исходных данных и проведении водохозяйственных расчетов определение балансов по календарным гидрологическим рядам по стволу р. Дон по восьми укрупненным водохозяйственным участкам [Схема комплексного использования..., 2014]:

I. Р. Дон, исток – г. Задонск.

II. Р. Дон от г. Задонска до г. Лиски.

III. Р. Дон от г. Лиски до г. Павловск.

IV. Р. Дон от г. Павловск до устья р. Хопер.

V. Р. Дон от впадения р. Хопер до г. Калач-на-Дону.

VI. Р. Дон от г. Калач-на-Дону до Цимлянского г/у (Цимлянское водохранилище).

VII. Р. Дон от Цимлянского г/у до впадения р. Северский Донец.

VIII. Р. Дон от впадения р. Северский Донец до устья.

VIIIa. Р. Северский Донец от истока до границы РФ с Украиной.

VIIIб. Р. Оскол до границы РФ с Украиной.

VIIIв. Р. Айдар до границы РФ с Украиной.

Укрупнение водохозяйственных участков также позволило решить проблему отнесения муниципальных районов к одному из смежных расчетных ВХУ, если территория района относится сразу к двум или более ВХУ. В случае с восемью укрупненными ВХУ погрешность меньше, чем при работе с 43 расчетными ВХУ. Только по населению, которое определялось на уровне сельских поселений и сельсоветов, стал возможен подсчет статистики на уровне ВХУ. Данные дистанционного зондирования также могут быть проанализированы в разрезе 43 расчетных ВХУ, так как имеют четкую координатную привязку и обрезаны по точной маске границ ВХУ. Геоинформационная обработка проводилась в программе QGIS 3.2, анализ данных выполнен в Microsoft Office Excel. Карты представлены в проекции UTM (зона 38N), площади рассчитаны на эллипсоиде WGS84.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

**Анализ статистических данных хозяйственного освоения.** Российская часть бассейна Дона располагается на территории 276 муниципальных районов 15 субъектов, которые подразделяются на 2274 муниципальных образования, количество населенных пунктов (НП) превышает 12 тыс. (табл. 1). Водосбор реки Дон в России разделяется на 43 расчетных водохозяйственных участка, каждый из которых привязан к основным притокам и участкам Дона. Бассейн Северского Донца захватывает также три области Украины: Донецкую, Луганскую и Харьковскую.

По данным бюллетеня [Численность..., 2018] подсчитана численность населения входящих в бассейн сельсоветов, сельских и городских поселений, городских округов – 13670,3 тыс. чел. Численность городского населения составляет 8727,6 тыс. чел., сельского – 4942,7 тыс. чел. На территории большинства ВХУ сельское население превышает городское,

наибольшая доля городского населения на участках: р. Воронеж от истока до г. Липецк, р. Северский Донец до границы с Украиной и р. Дон от впадения р. Северский Донец до устья (рис. 1). В разрезе укрупненных ВХУ наиболее населенными являются участки: р. Дон от впадения Северского Донца до устья и р. Дон от г. Задонска до г. Лиски (см. табл. 1). По сравнению с 2008 г. [Джамалов и др., 2017] численность населения бассейна уменьшилась почти

на 500 тыс. чел. Тенденция изменения численности направлена на ее снижение на 20–30 тыс. чел. в год, при этом соотношение сельского и городского населения сдвигается в сторону последнего. Получить более точную оценку скорости изменения населения не представляется возможным, поскольку статистические данные в разрезе муниципальных районов являются неполными: в отдельные годы отсутствуют данные более чем по 30 районам.

Таблица 1

### Численность и плотность населения в границах укрупненных ВХУ

ВХУ	Население, тыс. чел.			Плотность населения, чел./га	Кол-во муниципальных районов	Кол-во субъектов	Кол-во НП
	городское	сельское	всего				
I	428,6	410,1	838,7	0,24	50	6	990
II	1506,9	546,2	2053,1	0,49	51	6	1101
III	168,0	219,9	388,0	0,24	18	3	263
IV	165,2	350,3	515,5	0,2	26	5	18
V	901,0	909,4	1810,5	0,14	79	6	4994
VI	399,6	250,4	650,0	0,18	26	3	1171
VII	36,6	101,6	138,2	0,23	8	1	523
VIII	5121,6	2154,7	7276,3	0,52	104	10	3038
Всего	8727,6	4942,7	13 670,3	0,31	276	15	12 098

*Примечание:* НП – населенный пункт.

Общая посевная площадь в бассейне в 2015–2018 гг. составляла около 17 млн га. На долю зерновых и зернобобовых культур приходилось около 50%, в том числе 35–40% озимой пшеницы (табл. 2). С точки зрения формирования стока важно соотношение озимых и яровых культур, поскольку подготовка почвы под яровые подразумевает осеннюю вспашку, в результате в зиму уходит рыхлая пашня (так называемая «зябрь»). Зяблевая пахота способствует задержанию стока, снижая склоновый сток в 1,5 раза в южной части лесостепи и до 5 раз в степной зоне [Varabanov et al., 2018; Коронкевич, Долгов, 2019]. К озимым культурам в бассейне Дона относятся, главным образом, пшеница. Кроме того, высаживают озимые рожь, ячмень, тритикале и рапс, но их суммарная доля не превышает 1,5% посевных площадей. Если предположить, что все остальные культуры яровые и предполагают зяблевую вспашку, то распределение площадей озимых и яровых в бассейне будет таким, как показано на рисунке 2.

Более 50% озимые занимают только на участках ниже Калача-на-Дону, самая низкая доля озимых – на участке р. Дон от г. Задонск до г. Лиски. Именно в северной части бассейна (ВХУ I–V) произошло сильное снижение модуля поверхностного стока и

рост модуля межвенного (подземного) стока за последние 40–50 лет [Dzhamalov et al., 2013]. Это говорит о большой роли зяблевой вспашки наряду с климатическими изменениями в увеличении доли подземной составляющей стока.

Кроме влияния на распределение стока сельскохозяйственные земли также являются источником поступления загрязняющих веществ с диффузным стоком [Danilov-Danilyan et al., 2020]. Нагрузка, формируемая на полях, зависит от площади сельскохозяйственных угодий, гранулометрического состава и типа почв, их удаленности от гидрографической сети и массы внесенных удобрений с учетом выноса питательных элементов с урожаем. Наибольшая доля пашни характерна для ВХУ I и II – р. Дон от истока до г. Лиски (рис. 3), отдельные водосборы, например, Красивая Меча, распаханы на 90–95%. На гектар пашни в 2012–2018 гг. здесь в среднем вносилось 80–85 кг удобрений в год (здесь и далее внесение удобрений в расчете на 100% питательного вещества). На землях участков р. Дон от г. Лиски до г. Павловск и ниже устья Северского Донца дозы внесения удобрений составляли 55–60 кг/га в год, распаханность отдельных водосборов здесь колебалась в пределах 50–70%.

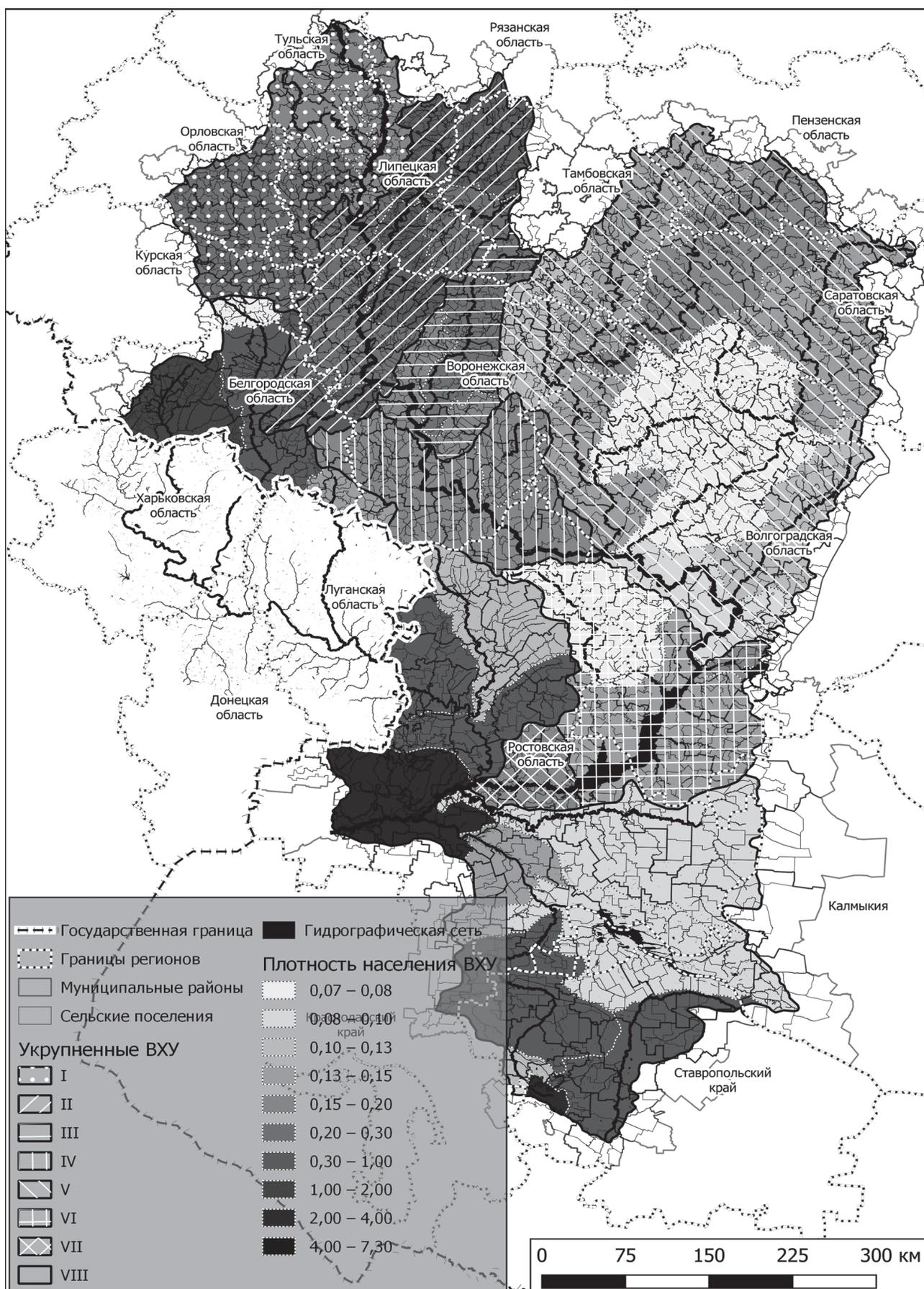


Рис. 1. Плотность населения в ВХУ бассейна р. Дон (чел./га)

Fig. 1. Population density in water management areas of the Don River basin (people/ha)

Площади основных культур по укрупненным ВХУ в 2018 г.

Культура	Площадь, тыс. га							
	Укрупненные ВХУ							
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
Пшеница яровая	129,7	78,7	31,6	9,1	325,1	12,6	0,0	25,5
Ячмень яровой	331,2	333,6	131,1	112,2	514,8	82,4	22,3	379,7
Кукуруза на зерно	53,4	89,9	41,5	91,7	156,5	0,6	4,1	243,0
Подсолнечник	125,9	255,2	101,5	185,6	1323,8	38,3	19,1	630,9
Рапс яровой (кольза)	87,5	22,6	0,2	0,0	10,7	0,0	0,0	0,2
Соя	151,3	124,6	48,4	16,2	55,7	0,0	0,0	168,5
Сахарная свекла	32,2	37,3	48,9	35,0	27,0	0,0	0,0	46,2
Картофель	30,2	58,9	17,6	16,4	37,8	3,2	0,2	30,8
Пшеница озимая	602,0	526,1	231,4	335,6	1577,4	563,3	90,4	2782,4

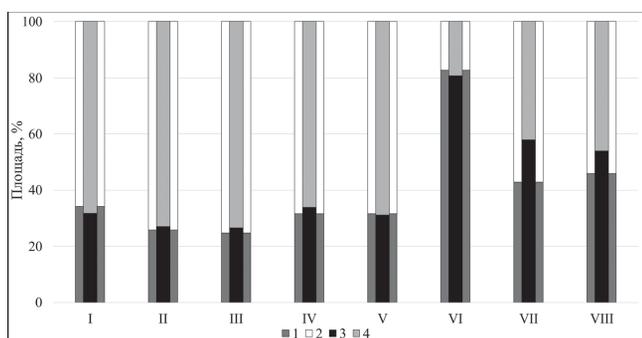


Рис. 2. Соотношение посевных площадей яровых и озимых культур в бассейне р. Дон.

2012 г.: 1 – озимые; 2 – яровые; 2018 г.: 3 – озимые; 4 – яровые

Fig. 2. The sown areas ratio for spring and winter crops in the basin of the Don River.

2012 (wider columns): 1 – winter crops; 2 – spring crops; 2018 (narrow columns): 3 – winter crops; 4 – spring crops

Валовые сборы зерна в российской части бассейна составили 43,6 млн т, примерно 40% из которых пришлось на участок ниже впадения Северского Донца и его бассейн, еще 21% зерна выращивалось в волгоградской части бассейна от устья р. Хопер до г. Калач-на-Дону, 25% – на участках от истока р. Дон до г. Лиски. Валовые сборы зерна в субъектах, на которых расположен донской бассейн, в 2017 г. достигли 80,8 млн т (рис. 4), что превысило показатель 1990 г. (56,3 млн т). При этом характерен устойчивый статистически значимый тренд с коэффициентом пропорциональности 2 млн т в год. Отмечен также рост валовых сборов овощей, картофеля, сахарной свеклы и др. Наибольшие валовые сборы по культурам, не относящимся к зерновым, в бассейне по сахарной свекле. Здесь также тенденция на увеличение сборов в среднем на 1,48 млн т в год. Кроме того, отмечается устойчивый рост

внесения минеральных удобрений. По сравнению с 1995 г. средняя доза удобрений в пересчете на питательное вещество выросла в пять раз: с 17 до 78 кг/га, но уровень 1990 г. (120 кг/га) еще не был достигнут. Рост массы вносимых удобрений в среднем составлял 3 кг/га в год. Масса вносимых органических удобрений в бассейне колебалась в пределах 1–1,5 кг/га. Увеличение урожайности и сборов влечет за собой повышенные затраты растительностью на транспирацию, что способствует иссушению верхних горизонтов почв и ведет к повышенной фильтрации и снижению поверхностного и подземного стока [Koronkevich et al., 2019].

**Анализ подстилающей поверхности по данным дистанционного зондирования.** Существенным преимуществом глобальных данных дистанционного зондирования является возможность пространственного анализа, несмотря на административные границы и наличие официальных статистических данных. Так, на основе информационного продукта CCI Land Cover получены площади различных типов подстилающей поверхности в пределах всего бассейна Дона в разрезе расчетных и укрупненных ВХУ и областей Украины за 1992–2018 гг. (рис. 5).

Из-за глобального всемирного охвата данные имеют низкое разрешение (300 м на пиксель), тем не менее для бассейна Дона, площадь которого составляет примерно 422 тыс. км<sup>2</sup> [Джамалов и др., 2017; Схема комплексного использования..., 2014] (рассчитанная на эллипсоиде площадь составила 438 тыс. км<sup>2</sup>), эти данные применимы на уровне укрупненных ВХУ и областей. Площадь чистой пашни по данным CCI Land Cover практически не менялась и составляет примерно 34 млн га. Эта оценка почти вдвое превышает данные о посевных площадях, полученных из официальной статистики, даже

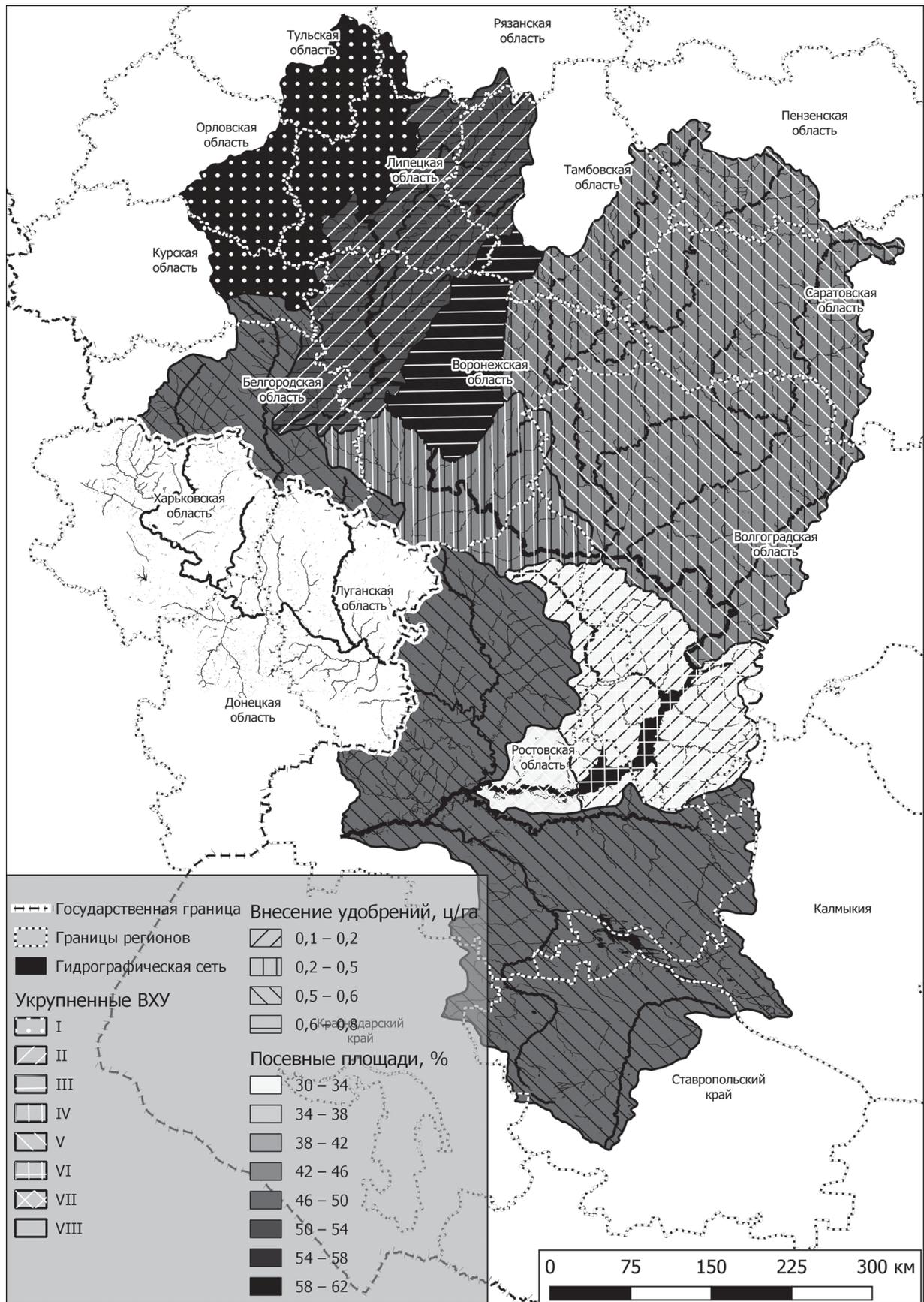


Рис. 3. Доля пашни и внесение удобрений (в пересчете на 100% питательного вещества) в ВХУ бассейна р. Дон в 2018 г.

Fig. 3. The share of arable land and the application of fertilizers (on 100% of the nutrient basis) in water management areas of the Don River basin in 2018

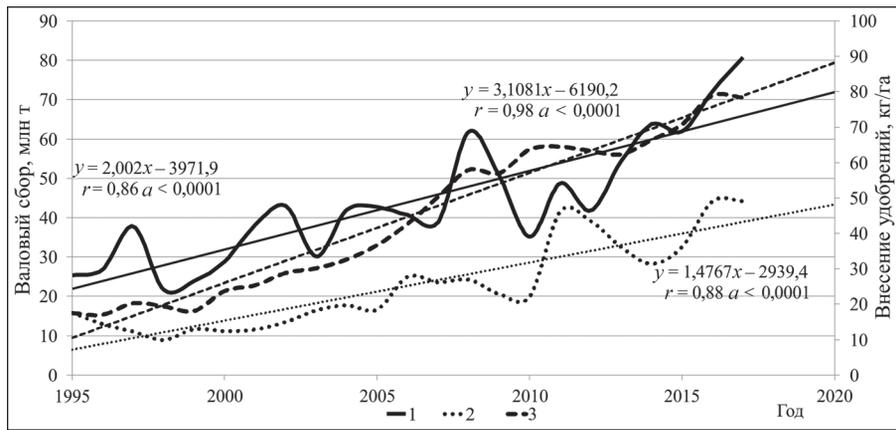


Рис. 4. Динамика и линейные тренды: валовые сборы зерна (1) и сахарной свеклы (2), внесение минеральных удобрений в расчете на 100% питательного вещества (3)

Fig. 4. Dynamics and linear trends: gross harvests of grain (1) and sugar beet (2), application of mineral fertilizers on 100% of the nutrient basis (3)

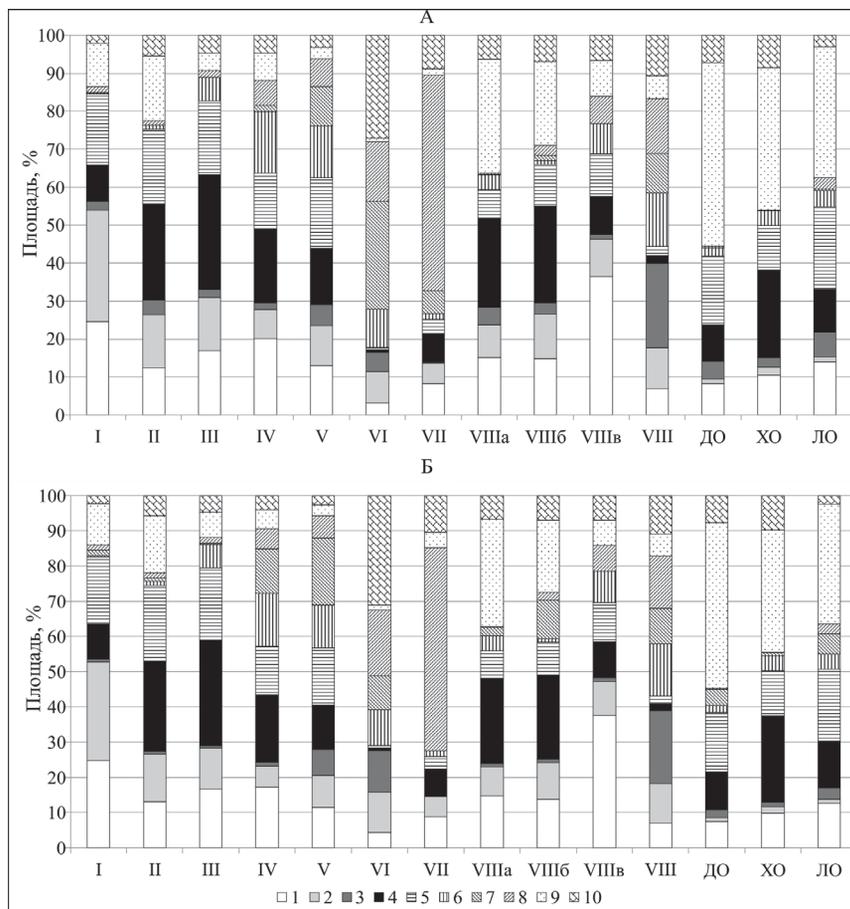


Рис. 5. Распределение ВХУ и областей Украины по основным типам подстилающей поверхности CCI Land Cover в 1992 г. (А) и 2018 г. (Б):

1 – пашни; 2 – пашни (более 50%) и пастбища (менее 50%); 3 – пашни (менее 50%) и пастбища (более 50%); 4 – леса; 5 – редколесья; 6 – пастбища; 7 – разреженная растительность с проективным покрытием менее 15%; 8 – водно-болотная растительность; 9 – урбанизированные территории; 10 – водные объекты; ДО – Донецкая область; ХО – Харьковская область; ЛО – Луганская область

Fig. 5. Distribution of water management areas and regions of Ukraine by the main types of the CCI Land Cover in 1992 (A) and 2018 (B):

1 – arable land; 2 – arable land (more than 50%) and pastures (less than 50%); 3 – arable land (less than 50%) and pastures (more than 50%); 4 – forests; 5 – woodlands; 6 – pastures; 7 – sparse vegetation with less than 15% coverage; 8 – wetland vegetation; 9 – urbanized territories; 10 – water bodies; ДО – Donetsk region; ХО – Kharkiv region; ЛО – Lugansk region

если вычесть украинскую часть (около 4 млн га). Это может быть вызвано одной из причин: статистика не отражает пар и залежи, либо алгоритм классификации типов подстилающей поверхности относит к пашне другие категории земель (в первую очередь мелкие балки и другие неудобья). Вероятнее всего имеют место обе причины: залежи и чистый пар по данным дистанционного зондирования относятся к категории культивируемых, в то время как официальные статистические данные могут быть занижены относительно фактической ситуации из-за недоучета посевных площадей. Оптимальным выходом в этой ситуации является использование тематических пространственных данных, в которых пахотные земли разделены на культуры, например сервис ВЕГА, который содержит сведения о парах, культурах, озимых и т. д. [Лупян и др., 2014].

Наибольшие площади пашни расположены в среднем (V) и нижнем (VIII) течении Дона, на долю указанных ВХУ приходится почти половина всей пашни в бассейне. В целом по бассейну произошло увеличение площади обрабатываемых земель примерно на 330 тыс. га, в основном за счет V, VI и VIII ВХУ. На территории остальных ВХУ площадь пашни уменьшилась, особенно сильно в украинской части – на 40 тыс. га в Донецкой области и по 80–85 тыс. га в остальных двух областях. Еще около 2,5 млн га в бассейне занимает мозаика из пашни и пастбищ в разном соотношении (из-за низкого разрешения не всегда возможно четкое разделение этих категорий, поэтому вводятся смешанные категории).

Площадь лесов выросла к 2018 г. по сравнению с 1992 г. на 172,8 тыс. га и составила 2 млн га. Прирост обеспечен в основном за счет территории Украины и центральной части бассейна. Существенно сократилась доля пастбищ с разреженным травостоем (проективное покрытие менее 15%) – почти на 850 тыс. га из 901 тыс. га в 1992 г. Причиной может быть значительное снижение поголовья скота из-за ухудшения социально-экономической ситуации в конце XX в., а также переход на содержание животных в животноводческих комплексах [Пизенгольц, 2018]. Кроме того, улучшились условия увлажнения, что способствовало росту продуктивности естественных травянистых ландшафтов. Следствием этого становится затухание эрозионных процессов на склоновых землях с редкой растительностью.

Практически вдвое увеличилась площадь урбанизированных территорий (искусственных поверхностей): с 258 до 580 тыс. га. Урбанизированные территории способствуют увеличению стока за счет водонепроницаемых поверхностей и отлаженной системы водоотведения [Коронкевич, Мельник, 2019]. Тем не менее по проанализированным дан-

ным доля урбанизированных территорий в бассейне составила всего 1,3%, что значительно меньше оценок, данных в работе [Koronkevich et al., 2019].

По данным USGS Land Use на 2000 г. в бассейне располагалось примерно 1 млн га или 2,4% площадей с искусственной поверхностью. Причем 30% урбанизированных территорий приходилось на украинскую часть бассейна. Площадь богарной пашни по данным этого информационного продукта составляла 29,2 млн га.

Наибольшим разрешением (30 м на пиксель) обладают данные о подстилающей поверхности Global Land Cover (GLC), которые содержат сведения на 2010 г. Легенда этих данных содержит 10 классов, из которых шесть представлены в бассейне р. Дон (табл. 3). По данным этого информационного продукта площадь урбанизированных территорий составила 1,38 млн га или 3,2% площади бассейна. Примерно 22% всех искусственных поверхностей расположены на участке от впадения Северского Донца до устья Дона, еще 28% – в украинской части бассейна. Площадь пашни составила 31,7 млн га, лесов – 2,8 млн га. Площадь пашни, по данным USGS и GLC, также значительно превысила данные официальной статистики в силу описанных выше причин. Данные GLC показали наибольшие площади лесов и урбанизированных территорий по сравнению с двумя проанализированными выше. Это связано с лучшим разрешением, которое позволяет определять небольшие застроенные и запечатанные участки, а также фрагментарные лесные массивы южной лесостепи и степи, и выделять лес в речных поймах.

## ВЫВОДЫ

Население российской части бассейна сократилось почти на 500 тыс. чел. по сравнению с 2008 г. и составило 13,67 млн чел. При сохраняющихся тенденциях в дальнейшем убыль будет происходить темпами 20–30 тыс. чел. в год большей частью за счет сельского населения.

Антропогенная трансформация ландшафтов водосборов приводит к изменению как величин и соотношения поверхностного и подземного стока, так и особенностей его сезонного распределения. Наибольшее снижение модуля поверхностного и увеличение модуля подземного стока в бассейне Дона характерно для северо-западной части бассейна, где преобладают яровые культуры, которые подразумевают зимовку рыхлой пашни – зяби. В бассейне Дона наблюдается рост посевных площадей, массы вносимых удобрений, валовых сборов культур, что может вызывать увеличение потерь почвенной влаги на транспирацию растительностью, а также вести к диффузному поступлению загрязняющих веществ.

**Площади основных категорий подстилающей поверхности в бассейне р. Дон по данным Global Land Cover**

ВХУ и области Украины	Площадь (числитель – тыс. га, знаменатель – %)						Площадь, тыс. га
	Пашня	Лес	Пастбища и сенокосы	Водно- болотные угодья	Водные объекты	Застроенные территории	
I	2891,4	79,1	70,7	0,1	10,6	87,0	3139,0
	92,1	2,5	2,3	0,0	0,3	2,8	
II	3005,2	391,9	197,5	3,8	26,1	172,1	3796,6
	79,2	10,3	5,2	0,1	0,7	4,5	
III	1005,6	149,0	271,3	1,5	10,1	40,7	1478,1
	68,0	10,1	18,4	0,1	0,7	2,8	
IV	1480,1	230,1	562,1	1,1	9,9	44,9	2328,1
	63,6	9,9	24,1	0,0	0,4	1,9	
V	8407,0	963,0	1748,0	52,3	51,7	204,4	11 426,3
	73,6	8,4	15,3	0,5	0,5	1,8	
VI	2306,1	112,1	505,4	5,6	242,5	46,1	3217,8
	71,7	3,5	15,7	0,2	7,5	1,4	
VII	411,2	37,4	67,8	0,8	9,5	15,5	542,1
	75,9	6,9	12,5	0,1	1,7	2,9	
VIIIa	473,8	62,4	81,2	0,0	4,7	32,7	654,9
	72,4	9,5	12,4	0,0	0,7	5,0	
VIIIб	795,1	82,0	80,4	0,5	7,3	43,6	1009,0
	78,8	8,1	8,0	0,0	0,7	4,3	
VIIIв	184,5	9,8	35,7	0,0	0,6	3,3	234,0
	78,8	4,2	15,3	0,0	0,3	1,4	
VIII	7190,5	210,9	2585,9	75,8	196,6	304,6	10 564,2
	68,1	2,0	24,5	0,7	1,9	2,9	
ДО	481,3	58,3	151,9	0,7	12,0	92,6	796,8
	60,4	7,3	19,1	0,1	1,5	11,6	
ЛО	1605,6	187,3	532,6	2,5	8,3	145,5	2481,8
	64,7	7,5	21,5	0,1	0,3	5,9	
ХО	1473,1	260,9	224,3	7,2	30,2	150,2	2145,8
	68,7	12,2	10,5	0,3	1,4	7,0	
Всего	31 710,5	2834,1	7114,8	152,0	619,9	1383,1	43 814,5
	72,4	6,5	16,2	0,3	1,4	3,2	

*Примечание:* ДО – Донецкая область; ХО – Харьковская область; ЛО – Луганская область.

Данные по площадям, занятым пашней, по официальной статистике и данным дистанционного зондирования, отличаются практически вдвое. По официальным данным, посевная площадь в российской части бассейна составила около 17 млн га против 30–34 млн га, по данным ДЗЗ. Это связано с недоучетом в статистике посевных площадей, а также паров и залежей. Кроме того, информационные продукты по данным дистанционного зондиро-

вания относят к культивируемым площадям мелкие балки и другие неудобья, которые в силу ограничений алгоритмов обработки и разрешения исходных спутниковых данных не могут быть отнесены в другие категории. Выходом из ситуации станет использование тематических пространственных данных, например сервиса ВЕГА, который обеспечивает поступление карт посевных площадей с разделением по культурам несколько раз в год.

Практически исчезли в бассейне Дона земли с разреженной растительностью (проективное покрытие менее 15%). Это связано с уменьшением поголовья скота на рубеже XX и XXI вв. на фоне климатических изменений. Рост увлажнения способствует увеличению продуктивности, а пастбищные нагрузки не достаточны для сдерживания растительности на пастбищах. Следствием этого изменения является снижение интенсивности эрозионных процессов на склонах балок.

По разным данным в бассейне р. Дон расположено от 1,3 до 3,2% урбанизированных территорий. На наш взгляд, наиболее объективная величина – 3,2%, поскольку получена по данным относительно высо-

кого разрешения. Застройка и запечатывание почв способствуют увеличению поверхностного стока. Кроме того, в населенных пунктах развита сеть водоотведения, которая также увеличивает сток.

Впервые проведен анализ хозяйственного освоения водосборов бассейна р. Дон в разрезе расчетных водохозяйственных участков и укрупненных водохозяйственных участков, в том числе включая три области украинской части бассейна. Дальнейшая работа по сопоставлению полученных данных с водобалансовыми позволит выявить закономерности влияния антропогенной трансформации подстилающей поверхности на подземный и поверхностный стоки в условиях климатических изменений.

**Благодарности.** Работа выполнена в рамках Госзадания ФНЦ агроэкологии РАН № 0713-2019-0001.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Болгов М.В., Филиппова И.А., Коробкина Е.А., Зайцева А.В., Харламов М.А. Водные ресурсы бассейна р. Дон в условиях климатических изменений. Закономерности формирования и воздействия морских, атмосферных опасных явлений и катастроф на прибрежную зону РФ в условиях глобальных климатических и промышленных вызовов («Опасные явления») (г. Ростов-на-Дону, 13–23 июня 2019 г.). Ростов на/Д.: ЮНЦ РАН, 2019. С. 364–366.
- Гельфан А.Н., Морейдо В.М. Динамико-стохастическое моделирование формирования снежного покрова на европейской территории России // Лед и снег. 2014. № 2(126). С. 44–52.
- Джамалов Р.Г., Киреева М.Б., Косолапов А.Е., Фролова Н.Л. Водные ресурсы бассейна Дона и их экологическое состояние. М.: ГЕОС, 2017. 205 с.
- Киреева М.Б., Илич В.П., Сазонов А.А., Михайлюкова П.Г. Оценка трансформации поверхности водосбора и ее влияния на условия формирования стока в бассейне р. Дон на основе данных космической съемки // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2018. Т. 15. № 2. С. 191–200.
- Киреева М.Б., Фролова Н.Л. Современные особенности весеннего половодья рек бассейна Дона // Водное хозяйство России. 2013. № 1. С. 60–76.
- Коронкевич Н.И., Георгиади А.Г., Долгов С.В., Барабанова Е.А., Каишутина Е.А., Милукова И.П. Изменение стока снегового половодья на южном макросклоне Русской равнины в период 1930–2014 гг. // Лед и снег. 2018. Т. 58. № 4. С. 498–506.
- Коронкевич Н.И., Долгов С.В. О гидрологической роли рельефа в южной части Русской равнины // Геоморфология. 2019. № 3. С. 46–56.
- Коронкевич Н.И., Мельник К.С. Влияние урбанизированных территорий на речной сток в Европе // Известия РАН. Серия географическая. 2019. № 3. С. 78–87.
- Лузян Е.А., Барталев С.А., Толпин В.А., Жарко В.О., Крашенинникова Ю.С., Оксюкевич А.Ю. Использование спутникового сервиса ВЕГА в региональных системах дистанционного мониторинга // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2014. Т. 11. № 3. С. 215–232.
- Пизенгольц В.М. Развитие отечественного животноводства в России // Теоретические и прикладные проблемы агропромышленного комплекса. 2018. № 1. С. 55–60.
- Рулев А.С., Шинкаренко С.С., Кошелева О.Ю. Оценка влияния гидрологического режима Волги на динамику затопления острова Сарпинский // Ученые записки Казанского университета. Серия: Естественные науки. 2017. Т. 159. Кн. 1. С. 139–152.
- Шинкаренко С.С., Кошелева О.Ю., Солодовников Д.А., Пузачева А.М. Анализ пастбищных ресурсов Волгоградской области в геоинформационной системе // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2019. № 1. С. 123–130.
- Юферева В.Г., Кулик К.Н., Рулев А.С. Геоинформационные технологии в агролесомелиорации. Волгоград: ВНИАЛМИ, 2010. 102 с.
- Azgin S.T., Dadaser-Celik F. Evaluating Surface Runoff Responses to Land Use Changes in a Data Scarce Basin: a Case Study in Palas Basin, Turkey, *Water Resources*, 2020, vol. 47, p. 828–834.
- Barabanov A.T., Dolgov S.V., Koronkevich N.I., Panov V.I., Petel'ko A.I. Surface runoff and snowmelt infiltration into the soil on plowlands in the forest-steppe and steppe zones of the East European Plain, *Eurasian Soil Science*, 2018, vol. 51, no. 1, p. 66–72, DOI: 10.1134/S1064229318010039.
- Chen J., Ban Y., Li S. China: Open access to Earth land-cover map, *Nature*, 2014, vol. 514 (7523), p. 434, DOI: 10.1038/514434c.
- Chirachawala C., Shrestha S., Babel M.S., Viridis S.G., Wichakul S. Evaluation of global land use / land cover products for hydrologic simulation in the Upper Yom River Basin, Thailand, *Science of The Total Environment*, 2020, vol. 708, p. 135–148.
- Danilov-Danilyan V.I., Venitsianov E.V., Belyaev S.D. Some Problems of Reducing the Pollution of Water Bodies

- from Diffuse Sources, *Water Resources*, 2020, vol. 47, p. 682–690.
- Dzhamalov R.G., Frolova N.L., Kireeva M.B. Current changes in river water regime in the Don River basin, *Water Resources*, 2013, vol. 40, no. 6, p. 573–584, DOI: 10.1134/S0097807813060043.
- Ermolaev O.P., Mal'tsev K.A., Ivanov M.A. Automated construction of the boundaries of basin geosystems for the Volga Federal District, *Geography and Natural Resources*, 2014, vol. 35, no. 35, p. 222–228, DOI: 10.1134/S1875372814030044.
- Georgiadi A.G., Koronkevich N.I., Barabanova E.A., Kashutina E.A., Milyukova I.P. Contribution of climatic and anthropogenic factors to changes in the flow of large rivers of the Russian plain and Siberia // *Doklady Earth Sciences*, 2019, vol. 488, no. 2, p. 1211–1216, DOI: 10.1134/S1028334X19100106.
- Guidigan M.L.G., Sanou C.L., Ragatoa D.S., Fafa C.O., Mishra V.N. Assessing Land Use / Land Cover Dynamic and Its Impact in Benin Republic Using Land Change Model and CCI-LC Products, *Earth Systems and Environment*, 2019, vol. 3, no. 1, p. 127–137.
- Hua T., Zhao W., Liu Y., Wang S., Yang S. Spatial Consistency Assessments for Global Land-Cover Datasets: A Comparison among GLC2000, CCI LC, MCD12, GLOBCOVER and GLCNMO, *Remote Sensing*, 2018, vol. 10, no. 11, p. 1846.
- James R.A., Hardy E.E., Roach J.T., Witmer R.E. A land use and land cover classification system for use with remote sensor data, Washington, United states government printing office, 1976, 34 p.
- Koronkevich N.I., Barabanova E.A., Georgiadi A.G., Dolgov S.V., Zaitseva I.S., Kashutina E.A. Assessing the anthropogenic impact on the water resources of Russia, *Herald of the Russian Academy of Sciences*, 2019, vol. 89, no. 3, p. 287–297, DOI: 10.1134/S1019331619030067.
- Kuchment L.S., Gel'fan A.N., Demidov V.N., Romanov P.Y. The use of satellite information for precomputing the snowmelt runoff hydrograph, *Russian Meteorology and Hydrology*, 2011, vol. 36, no. 9, p. 630–637, DOI: 10.3103/S1068373911090093.
- Li W., MacBean N., Ciais P., Defourny P., Lamarche C., Bontemps S., Houghton R.A., Peng S. Gross and net land cover changes in the main plant functional types derived from the annual ESA CCI land cover maps (1992–2015), *Earth System Science Data*, 2018, vol. 10, p. 219–234.
- Osei M.A., Amekudzi L.K., Wemegah D.D., Preko K., Gyawu E.S., Obiri-Danso K. The impact of climate and land-use changes on the hydrological processes of Owabi catchment from SWAT analysis, *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 2019, vol. 25, p. 100620.

#### Электронные ресурсы

- База данных муниципальных образований. URL: <https://www.gks.ru/db/scripts/munst/> (дата обращения 15.09.2020).
- Схема комплексного использования и охраны водных объектов бассейна реки Дон. Кн. 1: Общая характеристика речного бассейна. URL: [http://www.donbv.ru/activities/use\\_and\\_protection\\_don/](http://www.donbv.ru/activities/use_and_protection_don/) (дата обращения 15.09.2020).
- Land Cover CCI product User Guide Version 2. Tech. Rep., ESA, 2017, URL: [http://maps.elie.ucl.ac.be/CCI/viewer/download/ESACCI-LC-Ph2-PUGv2\\_2.0.pdf](http://maps.elie.ucl.ac.be/CCI/viewer/download/ESACCI-LC-Ph2-PUGv2_2.0.pdf) (дата обращения 15.09.2020).
- Численность населения Российской Федерации по муниципальным образованиям на 01.01.2018. Федеральная служба государственной статистики. URL: <https://gks.ru/compendium/document/13282?print=1> (дата обращения 15.09.2020).
- USGS Land Cover Classification System, URL: [https://swat.tamu.edu/media/116400/ea\\_landuse.zip](https://swat.tamu.edu/media/116400/ea_landuse.zip) (дата обращения 15.09.2020).

Поступила в редакцию 06.12.2020

После доработки 03.08.2021

Принята к публикации 22.11.2021

## GEOINFORMATIONAL ANALYSIS OF ECONOMIC DEVELOPMENT OF THE DON RIVER BASIN

S.S. Shinkarenko<sup>1</sup>, N.A. Tkachenko<sup>2</sup>, V.G. Yuferev<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Federal state budget scientific institution "Federal Scientific Centre for Agroecology, Complex Amelioration and Protective Afforestation, Russian Academy of Sciences"

<sup>1</sup> Scientific Researcher, Ph.D. in Agricultural Sciences; e-mail: [shinkarenkos@vfanc.ru](mailto:shinkarenkos@vfanc.ru)

<sup>2</sup> Scientific Researcher, Ph.D. in Agricultural Sciences; e-mail: [natulyat@mail.ru](mailto:natulyat@mail.ru)

<sup>3</sup> Head of Laboratory, Chief Scientific Researcher, D.Sc. in Agricultural Sciences; e-mail: [vyuferev1@rambler.ru](mailto:vyuferev1@rambler.ru)

The article deals with the analysis of economic development of the Don River catchment area using statistical materials, remote sensing data and geoinformation technologies. The data sources include official national statistics, information products of the Global Land Cover types with a resolution of 30 m and a CCI Land Cover product of the European Space Agency with a resolution of 250 m. The authors elaborated a sectoral geoinformation system, which contains information about the main types of underlying surface, cultivated areas, gross harvests and crop yields in the basin for 43 design water-resource areas, 8 enlarged water-resource regions, 276 municipal districts, 15 entities of the Russian Federation and 3 regions of Ukraine. It has been established that

the growth of cultivated areas and gross harvests of agricultural crops leads to increasing consumption of soil moisture for transpiration. The northwestern part of the basin is characterized by decreasing surface runoff and increasing underground runoff and a significant predominance of spring crops over winter ones (approximately 60% versus 40%) is observed there. Winter plowing before sowing spring crops reduces the surface runoff and enhances the filtration. The development of agriculture in the basin is oriented towards the expansion of cultivated areas, higher application of mineral and organic fertilizers and the growth in gross yields of basic crops (primarily grain, sugar beets and potatoes). According to the official data, cultivated areas in the Russian part of the basin amount to about 17 million hectares, while according to the remote sensing data they cover 30–34 million hectares. The area of forests in the basin is about 2.8 million hectares, and the area of urbanized territories is 1.4 million hectares, or 3.2%. Up-to-date data on the land cover should be used for modeling and analysis of water balance within the catchment areas of the Don River and its tributaries.

**Keywords:** remote sensing, surface runoff, land use, water resources

**Acknowledgements.** The work was carried out as a part of State Research Project of the FSC of Agroecology RAS no. 0713-2019-0001.

## REFERENCES

- Anderson J.R., Hardy E.E., Roach J.T., Witmer R.E. *A land use and land cover classification system for use with remote sensor data*, Washington, United states government printing office, 1976, 34 p.
- Azgin S.T., Dadaser-Celik F. Evaluating Surface Runoff Responses to Land Use Changes in a Data Scarce Basin: a Case Study in Palas Basin, Turkey, *Water Resources*, 2020, vol. 47, p. 828–834.
- Barabanov A.T., Dolgov S.V., Koronkevich N.I., Panov V.I., Petel'ko A.I. Surface runoff and snowmelt infiltration into the soil on plowlands in the forest-steppe and steppe zones of the East European Plain, *Eurasian Soil Science*, 2018, vol. 51, no. 1, p. 66–72, DOI: 10.1134/S1064229318010039.
- Bolgov M.V., Filippova I.A., Korobkina E.A., Zaitseva A.V., Kharlamov M.A. [Water resources of the Don river in the face of climate change], *Zakonomernosti formirovaniya i vozdeistviya morskikh, atmosferykh opasnykh yavlenii i katastrof na pribrezhnyuyu zonu RF v usloviyakh global'nykh klimaticheskikh i industrial'nykh vyzovov* ("Opasnye yavleniya") [Regularities of Formation and Impact of Marine and Atmospheric Hazardous Phenomena and Disasters on the Coastal Zone of the Russian Federation under Global Climatic and Industrial Challenges ("Dangerous Phenomena")], Rostov-on-Don, Southern Scientific Center of the RAN Publ., 2019, p. 364–366. (In Russian)
- Chen J., Ban Y., Li S. China: Open access to Earth land-cover map, *Nature*, 2014, vol. 514 (7523), p. 434, DOI: 10.1038/514434c.
- Chirachawala C., Shrestha S., Babel M.S., Viridis S.G., Wichakul S. Evaluation of global land use / land cover products for hydrologic simulation in the Upper Yom River Basin, Thailand, *Science of The Total Environment*, 2020, vol. 708, p. 135–148.
- Danilov-Danilyan V.I., Venitsianov E.V., Belyaev S.D. Some Problems of Reducing the Pollution of Water Bodies from Diffuse Sources, *Water Resources*, 2020, vol. 47, p. 682–690.
- Dzhamalov R.G., Frolova N.L., Kireeva M.B. Current changes in river water regime in the Don River basin, *Water Resources*, 2013, vol. 40, no. 6, p. 573–584, DOI: 10.1134/S0097807813060043.
- Dzhamalov R.G., Kireeva M.B., Kosolapov A.E., Frolova N.L. *Vodnye resursy basseina Dona i ikh ekologicheskoe sostoyanie* [Water resources of the Don basin and their ecological state], Moscow, GEOS Publ., 2017, 205 p. (In Russian)
- Ermolaev O.P., Mal'tsev K.A., Ivanov M.A. Automated construction of the boundaries of basin geosystems for the Volga Federal District, *Geography and Natural Resources*, 2014, vol. 35, no. 35, p. 222–228, DOI: <https://doi.org/10.1134/S1875372814030044>.
- Gel'fan A.N., Moreido V.M. Dinamiko-stokhasticheskoe modelirovanie formirovaniya snezhnogo pokrova na Evropeiskoi territorii Rossii [Dynamic-stochastic modeling of snow cover formation on the European territory of Russia], *Led i sneg*, 2014, no. 2(126), p. 44–52. (In Russian)
- Georgiadi A.G., Koronkevich N.I., Barabanova E.A., Kashutina E.A., Milyukova I.P. Contribution of climatic and anthropogenic factors to changes in the flow of large rivers of the Russian plain and Siberia, *Doklady Earth Sciences*, 2019, vol. 488, no. 2, p. 1211–1216, DOI: 10.1134/S1028334X19100106.
- Guidigan M.L.G., Sanou C.L., Ragatoa D.S., Fafa C.O., Mishra V.N. Assessing Land Use / Land Cover Dynamic and Its Impact in Benin Republic Using Land Change Model and CCI-LC Products, *Earth Systems and Environment*, 2019, vol. 3, no. 1, p. 127–137.
- Hua T., Zhao W., Liu Y., Wang S., Yang S. Spatial Consistency Assessments for Global Land-Cover Datasets: A Comparison among GLC2000, CCI LC, MCD12, GLOBCOVER and GLCNMO, *Remote Sensing*, 2018, vol. 10, no. 11, p. 1846.
- Kireeva M.B., Ilich V.P., Sazonov A.A., Mikhailyukova P.G. Otsenka transformatsii poverkhnosti vodosbora i ee vliyaniya na usloviya formirovaniya stoka v basseine r. Don na osnove dannykh kosmicheskoi s'emki [An assessment of changes in land usage and their impact on Don river basin runoff using satellite imagery], *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2018, vol. 15, no. 2, p. 191–200. (In Russian)
- Kireeva M.B., Frolova N.L. Sovremennye osobennosti vesennego polovod'ya rek basseina Dona [Present-day special features of the Don River basin rivers spring tide], *Vodnoe khozyaistvo Rossii*, 2013, no. 1, p. 60–76. (In Russian)
- Koronkevich N.I., Barabanova E.A., Georgiadi A.G., Dolgov S.V., Zaitseva I.S., Kashutina E.A. Assessing the anthropogenic impact on the water resources of Russia, *Herald of the Russian Academy of Sciences*, 2019, vol. 89, no. 3, p. 287–297, DOI: 10.1134/S1019331619030067.

- Koronkevich N.I., Dolgov S.V. O gidrologicheskoi roli rel'efa v yuzhnoi chasti Russkoi ravniny [On the hydrological role of relief in the southern part of the Russian Plain], *Geomorfologiya*, 2019, no. 3, p. 46–56. (In Russian)
- Koronkevich N.I., Georgiadi A.G., Dolgov S.V., Barabanova E.A., Kashutina E.A., Milyukova I.P. Izmenenie stoka snegovogo polovod'ya na yuzhnom makrosklone Russkoi ravniny v period 1930–2014 [Change in snow flood flow in the southern macro-slope of the Russian Plain in the period 1930–2014], *Led i sneg*, 2018, vol. 58, no. 4, p. 498–506. (In Russian)
- Koronkevich N.I., Melnik K.S. Vliyanie urbanizirovannykh territorii na rechnoi stok v Evrope [Impact of urbanized landscapes on the river flow in Europe], *Izvestiya Rossiiskoi akademii nauk, Ser. geograficheskaya*, 2019, no. 3, p. 78–87. (In Russian)
- Kuchment L.S., Gel'fan A.N., Demidov V.N., Romanov P.Y. The use of satellite information for precomputing the snowmelt runoff hydrograph, *Russian Meteorology and Hydrology*, 2011, vol. 36, no. 9, p. 630–637, DOI: 10.3103/S1068373911090093.
- Li W., MacBean N., Ciais P., Defourny P., Lamarche C., Bontemps S., Houghton R.A., Peng S. Gross and net land cover changes in the main plant functional types derived from the annual ESA CCI land cover maps (1992–2015), *Earth System Science Data*, 2018, vol. 10, p. 219–234.
- Loupian E.A., Bartalev S.A., Tolpin V.A., Zharko V.O., Krashe-ninnikova Yu.S., Oksyukevich O.Yu. Ispol'zovaniya sputnikovogo servisa VEGA v regional'nykh sistemakh distantsionnogo monitoringa [Vega satellite service applications in regional remote monitoring systems], *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2014, vol. 11, no. 3, p. 215–232. (In Russian)
- Osei M.A., Amekudzi L.K., Wemegah D.D., Preko K., Gyawu E.S., Obiri-Danso K. The impact of climate and land-use changes on the hydrological processes of Owabi catchment from SWAT analysis, *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 2019, vol. 25, p. 100620.
- Pizengol'ts V.M. [Development of livestock breeding in Russia], *Teoreticheskie i prikladnye problemy agropromyshlennogo kompleksa* [Theoretical and applied issues of the agroindustrial complex], 2018, no. 1, p. 55–60. (In Russian)
- Rulev A.S., Shinkarenko S.S., Kosheleva O.Yu. Otsenka vliyaniya gidrologicheskogo rezhima Volgi na dinamiku zatopleniya ostrova Sarpinskii [Assessment of the Influence of the Hydro-logical Regime of the Volga River on the Dynamics of Flooding on Sarpinsky Island], *Uchenye zapiski Kazanskogo universiteta, Ser.: Estestvennye nauki*, 2017, vol. 159, no. 1, p. 139–152. (In Russian)
- Shinkarenko S.S., Kosheleva O.Yu., Solodovnikov D.A., Pugacheva A.M. Analiz past-bishchnykh resursov Volgogradskoi oblasti v geoinformatsionnoi sisteme [Analysis of pasture resources of Volgograd region in geoinformation system], *Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: nauka i vysshee professional'noe obrazovanie*, 2019, no. 1, p. 123–130. (In Russian)
- Yuferev V.G., Kulik K.N., Rulev A.S. *Geoinformatsionnye tekhnologii v agrolesomelio-ratsii* [Geoinformation technologies in agroforestry], Volgograd, VNIALMI Publ., 2010, 102 p. (In Russian)

#### Web sources

- Baza dannykh munitsipal'nykh obrazovaniy [Database of municipalities], URL: <https://www.gks.ru/dbscripts/munst/> (access date 15.09.2020).
- Land Cover CCI Product User Guide Version 2. Tech. Rep., ESA, 2017, URL: [http://maps.elie.ucl.ac.be/CCI/viewer/download/ESACCI-LC-Ph2-PUGv2\\_2.0.pdf](http://maps.elie.ucl.ac.be/CCI/viewer/download/ESACCI-LC-Ph2-PUGv2_2.0.pdf) (access date 15.09.2020).
- Population of the Russian Federation by municipalities as of 01.01.2018, Federal State Statistics Service, URL: <https://gks.ru/compendium/document/13282?print=1> (access date 15.09.2020).
- Skhema kompleksnogo ispol'zovaniya i okhrany vodnykh ob'ektov basseina r. Don, kn. 1, Obshchaya kharakteristika rechnogo basseina [Scheme of integrated use and protection of water bodies in the Don Basin, book 1, General characteristics of the river basin], URL: [http://www.donbv.ru/activities/use\\_and\\_protection\\_don/](http://www.donbv.ru/activities/use_and_protection_don/) (access date 15.09.2020).
- USGS Land Cover Classification System, URL: [https://swat.tamu.edu/media/116400/ea\\_landuse.zip](https://swat.tamu.edu/media/116400/ea_landuse.zip) (access date 15.09.2020).

Received 06.12.2020

Revised 03.08.2021

Accepted 22.11.2021