

Оценка трансформации поверхности водосбора и её влияния на условия формирования стока в бассейне р. Дон на основе данных космической съёмки

М. Б. Киреева, В. П. Илич, А. А. Сазонов, П. Г. Михайлюкова

*Московский государственный университет
имени М. В. Ломоносова, Москва, 119991, Россия
E-mail: kireeva_mb@mail.ru*

В работе выполнен анализ изменения разных типов подстилающей поверхности в бассейне р. Дон, где в последние годы наблюдается продолжительный маловодный период. Географическое положение бассейна Дона и особенности распределения населения нашей страны позволяют говорить о двух основных возможных причинах дефицита воды. Одной из них являются природные засухи, вызванные аномальными снижениями осадков, увеличением испарения вслед за ростом температур воздуха. Дополнительный вклад может вносить рост потерь на инфильтрацию во время зимних оттепелей. Другой причиной видится рост хозяйственной деятельности, весьма активно развитой в данном регионе. На основе анализа архива космических снимков Landsat была изучена динамика землепользования в бассейне р. Дон. Для этого выбрано несколько ключевых временных периодов: середина 1980-х гг. (1985–1986), вторая половина 1990-х гг. (1996–1998), вторая половина 2000-х гг. (2007) и последние 2–3 года, соответствующие маловодному периоду (2014–2015). В результате автоматизированной классификации были выделены следующие классы объектов: водные объекты (реки и пруды); леса (лесные массивы, пойменные леса и древесная растительность овражно-балочной сети); поля и пастбища (пашни, залежи); антропогенные объекты (здания, дороги). В результате работы установлено, что смена различных типов подстилающей поверхности не является основной причиной маловодного периода.

Ключевые слова: маловодный период, Дон, космические снимки, динамика землепользования

Одобрена к печати: 03.04.2018

DOI: 10.21046/2070-7401-2018-15-2-191-200

Введение

Изучение влияния различных типов поверхности на условия формирования стока является крайне сложной и комплексной задачей. Преобладание того или иного типа поверхности водосбора обуславливает условия инфильтрации талых и дождевых вод в почву, процессы формирования склонового и подповерхностного стока, условия питания грунтовых горизонтов. В конечном счёте все это отражается на максимальном и меженном стоке с водосбора (Антропогенные..., 2003; Евстигнеев, 1990; Коронкевич, 1990; Михайлов и др., 2005; Фролова, 2006). Залесенные и урбанизированные территории по разному «воспринимают» поступающую на поверхность воду, соответствующим образом перераспределяя её. Таким образом, трансформация поверхности водосбора является косвенным фактором антропогенного воздействия на сток (Фролова, 2006). Особенно актуальна данная проблема для регионов с высокой степенью сельскохозяйственного освоения территории, антропогенным регулированием стока путём создания малых водохранилищ и прудов, высокой долей урбанизированных территорий (Антропогенные..., 2003).

Бассейн р. Дон является одним из наиболее густонаселённых и освоенных регионов России (Джамалов и др., 2010). Он занимает площадь 422 тыс. км², на которой в настоящий момент проживает около 29 млн человек. Дон и его притоки являются основными источниками пресной воды для населения. Помимо этого, они играют ключевую роль в таких отраслях, как рыбное хозяйство, рекреация, водный транспорт, гидроэнергетика (Цимлянская ГЭС). Дон издревле славился своим биоразнообразием и численностью организмов, образующих его водные и пойменные экосистемы. В настоящее время из-за антропогенной нагрузки эти показатели значительно снизились. В связи с этим маловодный период, равных

которому по продолжительности за всю историю наблюдений в этом бассейне не отмечалось, может привести к катастрофическим последствиям. Заметное снижение водности р. Дон началось с 2007 г. и длится по настоящее время.

Одной из наиболее важных составляющих комплексного исследования маловодного периода является выявление основных предпосылок и механизмов его формирования. Географическое положение бассейна Дона и особенности распределения населения нашей страны позволяют говорить о двух основных возможных причинах дефицита воды. Одной из них являются природные засухи, вызванные аномальным снижением осадков, увеличением испарения вслед за ростом температур воздуха. Дополнительный вклад может вносить рост потерь на инфильтрацию во время зимних оттепелей. Другая возможная причина — рост хозяйственной деятельности, весьма активно развитой в данном регионе. Помимо непосредственного роста экономических показателей, значительное влияние на сток рек может оказывать изменение структуры водного хозяйства, приводящее к увеличению потерь на водосборе в результате инфильтрации или испарения. Именно оценка изменения площади различных типов подстилающей поверхности в бассейне и качественные выводы о её возможном влиянии на динамику объёмов стока являются основными объектами исследования в данной работе.

Материалы и методы исследования

С развитием космических и информационных технологий появились новые методы оценки роли антропогенной составляющей в формировании маловодий. Одним из них является анализ трансформации поверхности водосборов на основе применения космических снимков за различные временные срезы, соответствующие разным периодам водности и интенсивности водного хозяйства. В научной литературе можно встретить большое количество публикаций, посвящённых вопросам применения данных дистанционного зондирования (ДДЗ) для анализа факторов, влияющих на сток. Существенная часть работ выполнена для территории Китая и Индии, что, вероятно, связано с актуальностью такого рода проблем в данных странах в связи с перенаселением, быстрым истощением ресурсов и развитием многих отраслей экономики и, как следствие, стремительным изменением подстилающей поверхности и структуры водного хозяйства.

Ярким примером является исследование, посвященное использованию ГИС-технологий и данных дистанционного зондирования для оценки изменения растительного покрова в бассейне р. Неййар (Sheeja et al., 2011). В работе авторы используют информацию по трём временным срезам: 1914, 1967 и 2007 гг. Отсутствие спутниковых снимков за первые два года компенсируется использованием топографических карт. В результате авторы приводят серию карт типов подстилающей поверхности для трёх исследуемых лет и анализируют их временную динамику. В другой работе выполнен анализ изменения растительного покрова в верховьях водосбора р. Сан-Педро в Аризоне (Mouat, Lancaster, 2008). Наличие информации за 52 года, а также серий аэрофотоснимков (за 1935 г.) и космических изображений Landsat/MSS позволили зафиксировать быструю смену видов растительного покрова. В исследовании сотрудников Международного института управления водными ресурсами в Коломбо (Thenkabail et al., 2005) выполнен анализ смены типов подстилающей поверхности для большой площади на территории Индии — 1,33 млн км². Авторами были подобраны 42 космических снимка за 2001–2002 гг., которые позволили оценить динамику подстилающей поверхности.

Если в перечисленных статьях основной целью авторов являлась оценка изменения типов подстилающей поверхности, то в работе исследователей из Германии, Люксембурга и Узбекистана (Congrad et al., 2013) использование спутниковых данных сочетается с моделированием необходимого для выращивания сельскохозяйственных культур количества воды. Таким образом, учёные пытаются наметить пути решения проблемы дефицита воды в Средней Азии и Ферганской долине, связанного с орошением выращиваемых там хлопка и пшеницы.

Ключевым вопросом при анализе вклада хозяйственной деятельности в формирование дефицитных по водности периодов является выбор анализируемых водосборов, выбор исследуемых временных срезов и источников данных. Для апробации методики определены два бассейна, входящие в состав бассейна р. Дон (рис. 1). Выбор репрезентативных бассейнов осложняется тем, что для исследуемого маловодного периода характерна значительная пространственно-временная неоднородность. Поэтому при определении анализируемой территории учитывались следующие факторы:

- наличие данных о суммарном годовом влиянии водозабора выше исследуемого поста в ежегодных изданиях «Гидрологического водного кадастра» (ГВК);
- соблюдение условия, чтобы бассейн помещался не более, чем на 6–7 снимках.

В ГВК приводятся также значения водозабора из речной сети и подземных источников, объёмы сбросов воды и некоторые другие характеристики водного режима.

За основные створы приняты: пост у г. Новохопёрск на р. Хопёр ($F = 35\,046 \text{ км}^2$) и пост у г. Лиски на р. Дон ($F = 68\,968 \text{ км}^2$). Для отработки методики дешифрирования космических снимков также выбран небольшой бассейн, включающий в себя самые верховья Хопра (с. Пановка, $F = 982 \text{ км}^2$).

Оценка изменения площади разных типов подстилающей поверхности выполнялась на основе космических снимков, так как площади распаханых земель, лесных массивов и др. приводятся в ежегодной статистической отчётности (<http://www.gks.ru/>) лишь для субъектов Российской Федерации. В работе использовались изображения, полученные съёмочными системами спутников американской серии Landsat, начиная с Landsat-5. Для выявления динамики площадей различных типов подстилающей поверхности за последние 30 лет проводился поиск снимков за четыре временных среза:

- середина 1980-х гг. (1985–1986);
- вторая половина 1990-х гг. (1996–1998);
- вторая половина 2000-х гг. (2007);
- последние 2–3 года, соответствующие маловодному периоду (2014–2015).

Середина 1980-х гг. соответствует наиболее интенсивной хозяйственной деятельности в бассейне р. Дон, о чём говорится в целом ряде работ (Антропогенные..., 2003; Коронкевич, 1990; Шикломанов, 2008). Временной срез 1985 г. отражает максимальную степень освоённости сельскохозяйственных угодий, косвенно связанную с объёмами забора воды на поливное орошение. Середина 1990-х гг., наоборот, соответствует наибольшей степени упадка хозяйства после развала Советского Союза, резкому сокращению водозабора на сельскохозяйственные



- Граница бассейна реки Хопёр (пост хут. Бесплемяновский)
- Граница бассейна реки Дон (пост г. Лиски)
- Граница бассейна реки Дон (устьевой створ)

Рис. 1. Бассейн р. Дон и территории водосборов выше указанных створов

нужды. Временной срез середины 2000-х гг. отражает постепенное возрождение сельского хозяйства в регионе, распашку залежных полей до начала маловодного периода 2007–2015 гг. Именно маловодье в последующие годы в некоторой степени стало ограничивать поливное земледелие, интенсифицировавшееся во второй половине 2000-х гг. С точки зрения водных ресурсов середина 1980-х, 1990-х и 2000-х гг. соответствует периодам, когда водность была близкой к среднемноголетней. При этом выделялись отдельные случайные пики — годы повышенной водности разных частей бассейна, которые в целом слабо меняют общую картину освоенности и степени трансформации поверхности водосбора. Временной срез 2014–2015 гг. соответствует периоду маловодья, что представляет особенный интерес.

Принятая частота временных срезов признана оптимальной, так как, с одной стороны, позволяет уловить все значимые тенденции в изменении площадей и различные стадии социальной, политической и экономической жизни страны, а с другой — не приводит к излишней детализации и потере времени. В *табл. 1* приведён перечень использованных снимков на территории исследуемых водосборов. Следует отметить, что все снимки приходятся на меженные периоды с точки зрения гидрологических сезонов. Половодье в бассейне Дона с начала 1980-х гг. сместилось на более ранние сроки (Киреева, Фролова, 2013). Начало половодья приходится на конец февраля — начало марта, окончание обычно происходит в конце апреля — начале мая. Все использованные космические снимки соответствуют межённому периоду, что позволяет сопоставлять площади водных объектов. Это исключает влияние сезонных особенностей водного режима на точность вычисления площади водной поверхности в разные весенне-летние месяцы.

Таблица 1. Перечень используемых в работе космических снимков

Название замыкающего створа	1985–1986 гг. Landsat-5/TM	1996–1998 гг. Landsat-5/TM	2007 г. Landsat-5/TM	2014–2015 гг. Landsat-8/OLI
Новохопёрск	20.05.1985	09.06.1998	17.05.2007	04.08.2015
	20.05.1985	09.06.1998	17.05.2007	04.08.2015
	29.05.1985	18.06.1998	26.05.2007	11.08.2015
	29.05.1985	18.06.1998	26.05.2007	11.08.2015
Пановка	02.09.1985	14.07.1996	17.08.2007	29.05.2014
Лиски	—	24.06.1996	10.08.2007	19.07.2014
	—	26.06.1996	12.08.2007	28.07.2014
	—	10.07.1996	17.08.2007	30.07.2014
	—	—	26.08.2007	—

Обработка изображений проводилась в специализированной программе Erdas Imagine 2014. На основе космических снимков Landsat-5 были созданы мозаики для каждого года на территорию водосборов выше створов Дон — Хопёр и Дон — Лиски. Мозаики представляют собой синтезированные изображения, созданные с использованием каналов видимого и ближнего инфракрасного диапазонов. Их пространственное разрешение составило 30 м.

Поскольку наземные обследования анализируемых бассейнов не проводились, сформировать качественные эталоны для проведения достоверной контролируемой классификации не представлялось возможным. В ходе работы предпринималась попытка использовать данные Атласа земель сельскохозяйственного назначения Российской Федерации для набора эталонов (<http://atlas.mcx.ru>). Однако из-за большого числа возникших неопределённостей, связанных с источниками приведённых данных, времени их получения и погрешностей, от использования информации с данного ресурса пришлось отказаться. В результате была выполнена классификация методом К-среднее. Преимуществом данного метода является простота алгоритма и, как следствие, высокая скорость обработки большого массива информации. В качестве входных параметров задавалось 15 классов, 10 итераций и пороговое значение 0,98. Данные характеристики установлены эмпирически и признаны репрезентативными.

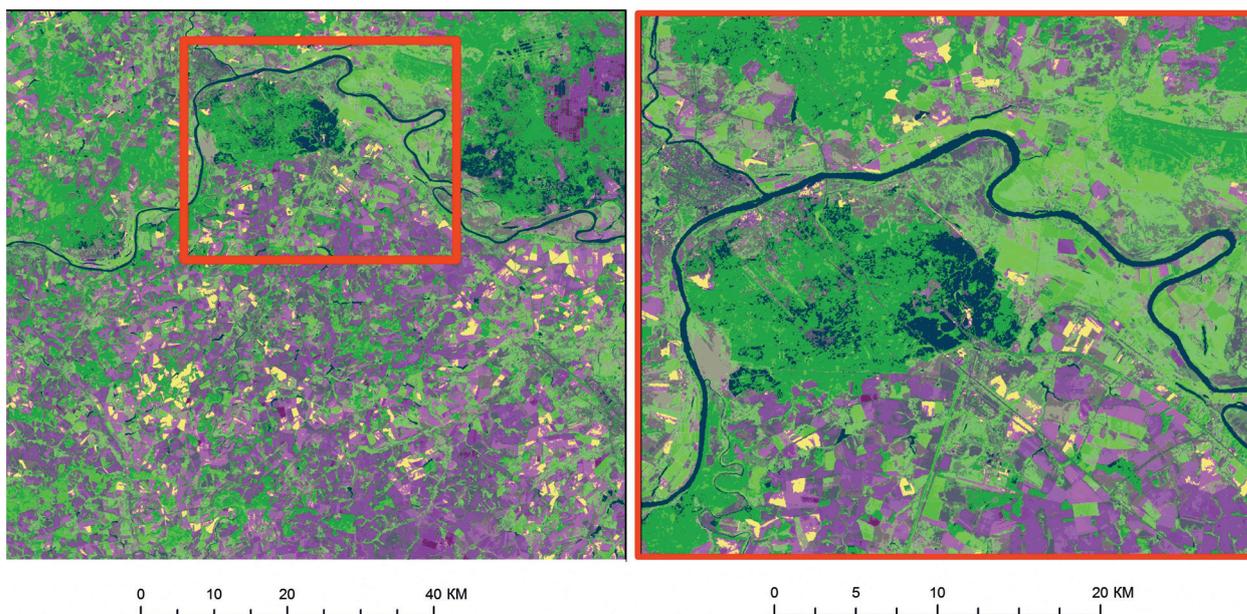


Рис. 2. Пример мозаики космического снимка для части бассейна (слева) и его фрагмент (справа)

Полученное количество классов (15) содержит в себе несколько подклассов однотипных объектов. Например, на поля, залежи и пастбища пришлось порядка шести классов. Поэтому было принято решение о выделении четырёх классов объектов:

- водные объекты (реки и пруды);
- леса (лесные массивы, пойменные леса и древесная растительность овражно-балочной сети);
- поля (пашни, залежи и пастбища);
- антропогенные объекты (населённые пункты и дороги).

Такой выбор обусловлен тем, что выделение классов более дробных единиц (например, пашни и пастбища как отдельного класса) автоматизированными методами сложно осуществимо. Это объясняется невозможностью покрыть всю территорию водосборов выше исследуемых створов единомоментной космической съёмкой, что, в свою очередь, приводит к созданию разновременной мозаики космических снимков, на которой состояние возделываемых полей зафиксировано в разные фенологические фазы (рис. 2).

Для каждого из четырёх временных периодов проведена классификация с оценкой качества выделенных классов. Наиболее точно в автоматическом режиме определялись классы, относящиеся к водным объектам (речная сеть и пруды). Затем определялись классы лесов и полей. Все остальные были отнесены к классу антропогенных объектов. Далее была выполнена векторизация результатов классификации для ручного контроля качества полученных результатов: в случае ошибочного определения класса объектов выполнялось ручное редактирование векторного слоя с изменением соответствующей атрибутивной информации.

Результаты

В результате проделанной работы по дешифрированию космических снимков получено распределение площадей водных объектов, лесов, антропогенных застроек и полей за последние 30 лет для постов Пановка и Новохопёрск (для р. Хопёр) и за последние 18 лет для поста Лиски (р. Дон). Отметим, что площадь минимального объекта (озеро), определённая по снимкам, составила 0,005 км².

Как видно из *табл. 2–4*, для бассейнов р. Хопёр характерно снижение площади полей и почти двукратное увеличение площади лесов, что, скорее всего, связано со снижением объёмов сельского хозяйства. При этом наблюдается рост площади антропогенной застройки, что, с одной стороны, связано с урбанизацией, а с другой — с длительностью разрушения объектов капитального строительства после перехода в заброшенное состояние.

Таблица 2. Распределение площади водных объектов, лесов, антропогенных застроек и полей за последние 30 лет в бассейне р. Хопёр (закрывающий створ у с. Пановка)

Объект	1985 г.		1996 г.		2007 г.		2014 г.	
	Площадь, км ²	Доля от общей площади, %	Площадь, км ²	Доля от общей площади, %	Площадь, км ²	Доля от общей площади, %	Площадь, км ²	Доля от общей площади, %
Вода	2,35	0,2	4,02	0,4	3,38	0,3	4,86	0,5
Растительность	26,2	2,7	33,2	3,4	47,3	4,8	54,6	5,5
с.-х. поля	953	97,0	944	96,1	931	94,8	922	93,9
Населённые пункты	0,45	0,1	0,78	<0,1	0,32	<0,1	0,54	<0,1

Таблица 3. Распределение площади водных объектов, лесов, антропогенных застроек и полей за последние 30 лет в бассейне р. Хопёр (закрывающий створ у г. Новохопёрск)

Объект	1985 г.		1996 г.		2007 г.		2014 г.	
	Площадь, км ²	Доля от общей площади, %	Площадь, км ²	Доля от общей площади, %	Площадь, км ²	Доля от общей площади, %	Площадь, км ²	Доля от общей площади, %
Вода	349	1,0	389	1,1	314	0,9	170	0,5
Растительность	3556	10,1	4761	13,6	5311	15,2	5875	16,8
с.-х. поля	30 804	87,9	29 395	83,9	28 934	82,5	28 489	81,2
Населённые пункты	337	1,0	501	1,4	487	1,4	512	1,5

Наиболее интересна ситуация с водными объектами, большую часть которых занимают небольшие пруды. Для верхнего бассейна характерно некоторое снижение их площади в первое десятилетие XXI в., а затем — рост. Любопытно значительное увеличение прудов в конце 1980-х и в 1990-е гг. А вот для большего из бассейнов (закрывающий створ у г. Новохопёрск) рост площади водных объектов в конце прошлого века сменился спадом на протяжении последних 20 лет. При этом площадь сократилась более чем в два раза. Для большей наглядности создана столбчатая диаграмма изменения площадей лесов и водных объектов в бассейне р. Хопёр (створ г. Новохопёрск) (*рис. 3*, см. с. 197). Вероятно, уменьшение площади, занятой водными объектами, связано с их зарастанием и переходом в статус заболоченных территорий, не относящихся к объектам с открытой водной поверхностью. Это также иллюстрирует процессы, происходящие на протяжении маловодного периода.

Несмотря на то, что для поста Лиски взят меньший срок наблюдения, видно, как менялась залесенность водосбора (*рис. 4*, см. с. 197). С 1996 по 2014 г. площадь лесов увеличилась в четыре раза, что связано с сокращением освоения земель и, как следствие, зарастанием полей. Помимо залесенности увеличилась и площадь антропогенной застройки в связи с расширением частного сектора и ростом темпов промышленного освоения с середины 1990-х гг. Можно отметить тот факт, что соотношение площади водной поверхности и площади антропогенной застройки в 1996, 2007 и 2014 гг. уменьшилось в два раза.



Рис. 3. Изменение площадей лесов и водных объектов в бассейне р. Хопёр (замыкающий створ у г. Новохопёрск)

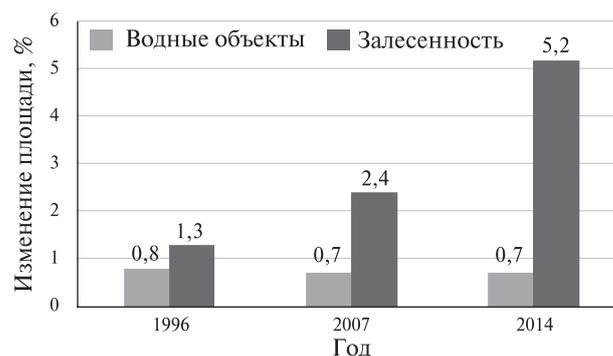


Рис. 4. Изменение площадей лесов и водных объектов в створе Дон – Лиски

Так, в 1996 г. соотношение данных площадей составило 0,6; в 2007 г. — 0,28, а в 2014 г. уменьшилось до 0,13. При этом главным фактором, формирующим данное соотношение, является площадь антропогенной застройки, существенно изменившаяся в отличие от площади водной поверхности.

Минимальное значение площади водной поверхности составило 460,1 км² и зафиксировано для 2007 г., когда на территории Европейской части России была отмечена сильная засуха. К 2014 г. значение увеличилась до 477,7 км², однако так и не достигло показателя 1996 г. Этот факт можно объяснить не только климатическими изменениями, произошедшими за данный период, но и изменением объёма водозабора воды.

Таблица 4. Распределение площади водных объектов, лесов, антропогенных застроек и полей за последние 18 лет в бассейне р. Дон (замыкающий створ у г. Лиски)

Объект	1996 г.		2007 г.		2014 г.	
	Площадь, км ²	Доля от общей площади, %	Площадь, км ²	Доля от общей площади, %	Площадь, км ²	Доля от общей площади, %
Вода	522,9	0,8	460,1	0,7	477,7	0,7
Растительность	870,1	1,2	1648,5	2,4	3576,9	5,2
с.-х. поля	63 933,6	92,7	62 307,7	90,3	59 558,4	86,3
Населённые пункты	3641,4	5,3	4551,7	6,6	5355,0	7,8

В целом полученные результаты можно считать достоверными и использовать их при изучении влияния хозяйственной деятельности на сток р. Хопёр и верховья р. Дон.

Обсуждение результатов

Согласно ежегодным данным Государственного водного кадастра (далее — ГВК), максимальное суммарное изменение стока водозабором наблюдалось в 2007 г. (0,01 км³). Среднее значение за маловодный период составляло 0,009 км³. Это всего лишь 0,26 % от среднемноголетнего стока за период маловодья. Максимальная доля суммарного изменения стока от годового наблюдалась в 2009 г. — 0,36 %. Все эти величины позволяют говорить об отсутствии сколько-нибудь значительного влияния водозабора на сток.

С другой стороны, влияние хозяйственной деятельности может проявляться косвенно, в совокупности с природными факторами. Так, увеличение площади водных объектов может привести к росту потерь на испарение. На основе данных реанализа получено, что испарение с водных объектов в 2007 г. составило около 3,74 %, а в 2014 г. — 2,13 % от суммарного го-

дового стока. Несмотря на то, что точность таких расчетов невелика, они позволяют судить о порядке исследуемых величин. Этот вид потерь фактически на порядок выше, чем потери за счёт водозабора. В период маловодья сокращение площади водной поверхности в какой-то степени может снижать «водный стресс», поскольку это приводит к уменьшению потерь на испарение с поверхности водных объектов. Таким образом, снижение площади водных объектов более чем в два раза за 30 лет, бесспорно, привело к снижению потерь воды на испарение. К противоположным последствиям приводит увеличение залесенности бассейна: происходит увеличение объёмов перехвата склонового стока корневой системой древесной растительности, что, в свою очередь, сказывается на росте эвапотранспирации и суммарного испарения. Для расчетов точных количественных значений вклада трансформации в изменение водности рек необходимы детальные полевые исследования, отсутствующие в данной работе. В то же время по итогам проведённых оценок нельзя утверждать, что хозяйственная деятельность играет главную роль в снижении водности рек. Это свидетельствует об определяющей роли климатических факторов.

Заключение

В результате проделанной работы проведён анализ основных возможных антропогенных причин снижения водности р. Хопёр — главного левого притока р. Дон в замыкающем створе (г. Новохопёрск) и р. Верхний Дон в створе г. Лиски. Для бассейна р. Хопёр оценка влияния водохозяйственного комплекса по данным космических снимков и ежегодных изданий ГВК показала незначительный вклад как прямых, так и косвенных антропогенных факторов в потенциальное изменение водности исследуемых водотоков. В то же время, помимо непосредственного водозабора из речной сети и подземных источников, важную роль играет увеличение потерь воды, косвенно обусловленных изменением хозяйственной активности. К ним в первую очередь относится рост потерь на испарение за счёт увеличения заозёрности и залесенности бассейна.

Для верховья бассейна Дона, напротив, наблюдается более существенный вклад антропогенной деятельности, что подтверждает уменьшение соотношения площади водной поверхности и площади антропогенной застройки от периода к периоду.

Тем не менее полученные результаты позволяют сделать вывод, что изменение площади различных типов подстилающей поверхности не является основной причиной формирования маловодного периода. Объёмы потерь, обусловленные хозяйственной деятельностью населения, не превышают 5–7 %.

Интересно также отметить тот факт, что для такой крупной реки, как Дон, водный режим как притоков, так и главной реки, может сильно отличаться в различных частях бассейна. Данная работа была выполнена для северной части бассейна р. Дон, в дальнейшем планируется провести подобные исследования и для южной части.

Работа выполнена при поддержке гранта Президента Российской Федерации для государственной поддержки молодых российских учёных МК-2331.2017.5, а также грантов РФФИ (проект № 16-35-60080) в части исходной информации и проекта № 17-05-41030 РГО_a в части анализа водного режима.

Литература

1. Антропогенные воздействия на водные ресурсы России и сопредельных государств в конце XX столетия / под ред. Коронкевича Н. И., Зайцевой И. С. М.: Наука, 2003. 367 с.
2. Джамалов Р. Г., Фролова Н. Л., Киреева М. Б., Сафронова Т. И. Динамика подземного стока бассейна Дона под влиянием изменений климата // Недропользование XXI век. 2010. № 4. С. 78–81.
3. Евстигнеев В. М. Речной сток и гидрологические расчеты. М.: Изд-во МГУ, 1990. 304 с.
4. Киреева М. Б., Фролова Н. Л. Современные особенности весеннего половодья рек бассейна Дона // Водное хозяйство России. 2013. № 1. С. 60–76.

5. *Коронкевич Н. И.* Водный баланс Русской равнины и его антропогенные изменения. М.: Наука, 1990. 205 с.
6. *Михайлов В. Н., Добровольский А. Д., Добролюбов С. А.* Гидрология. М.: Высш. шк., 2005. 463 с.
7. *Фролова Н. Л.* Гидрология рек (антропогенные изменения речного стока): учеб. пособие. М.: Географический ф-т МГУ, 2006. 111 с.
8. *Шикломанов И. А.* Водные ресурсы России и их использование. СПб.: Гос. гидрологический ин-т, 2008, 600 с.
9. *Conrad C., Rahmann M., Machwitz M., Stulina G., Paeth H., Dech S.* Satellite based calculation of spatially distributed crop water requirements for cotton and wheat cultivation in Fergana Valley, Uzbekistan // *Global and Planetary Change*. 2013. V. 110. P. 88–98.
10. *Mouat D. A., Lancaster J.* Use of remote sensing and GIS to identify vegetation change in the upper San Pedro River watershed, Arizona // *Geocarto International*. 2008. V. 11. P. 55–67.
11. *Sheeja R. V., Sabu J., Jaya D. S., Baiju R. S.* Land use and land cover changes over a century (1914–2007) in the Neyyar River Basin, Kerala: a remote sensing and GIS approach // *Intern. J. Digital Earth*. 2011. V. 4. No. 3. P. 258–270.
12. *Thenkabail P. S., Schull M., Turrall H.* Ganges and Indus river basin land use/land cover (LULC) and irrigated area mapping using continuous streams of MODIS data // *Remote Sensing of Environment*. 2005. V. 95. P. 317–341.

An assessment of changes in land usage and their impact on Don River basin runoff using satellite imagery

M. B. Kireeva, V. P. Ilich, A. A. Sazonov, P. G. Mikhaylyukova

*Lomonosov Moscow State University, Moscow 119991, Russia
E-mail: kireeva_mb@mail.ru*

In the past 10 years the Don River region of Russian South experienced extreme droughts. By analyzing changes in land usage in the Don basin area and taking into account geographical location and population distribution we were able to identify two possible factors responsible for water shortages. First factor is natural draughts caused by anomalous decrease in precipitation accompanied by increased rate of evaporation due to higher air temperatures. Losses of water caused by seepage during winter thaws could also contribute to this factor. The second possible factor is economic growth of the already developed region. By using the Landsat imagery archive we were able to analyze the dynamics of land usage in the Don basin. Several key periods were chosen for analysis: mid-eighties (1985–1986), mid-nineties (1995), the middle of 2000-ies (2005), and several recent years around the extreme low-flow period (2014). Next, k-means algorithm was used to clusterize images into following classes: water (rivers and ponds), vegetation (including forest, fields, grassland, arable land, fallow lands), anthropogenic objects (buildings, roads). By analyzing the dynamics of these classes during the selected time periods we conclude that changes in land usage cannot be responsible for draughts, in contrast to the decrease in precipitation.

Keywords: drought, Don, satellite imagery, dynamics of land use

Accepted: 03.04.2018

DOI: 10.21046/2070-7401-2018-15-2-191-200

References

1. *Antropogennye vozdeistviya na vodnye resursy Rossii i sopredel'nykh gosudarstv v kontse XX stoletiya* (Human impact on water resources of Russia and neighboring countries in the late XX century), Koronkevich N. I., Zaitseva I. S. (eds.), Moscow: Nauka, 2003, 367 p.
2. *Dzhamalov R. G., Frolova N. L., Kireeva M. B., Safronova T. I., Dinamika podzemnogo stoka basseina Dona pod vliyaniem izmenenii klimata* (Dynamics of groundwater runoff of the don basin under influence of climate change), *Nedropol'zovanie — XXI vek*, 2010, No. 4, pp. 78–81.

3. Evstigneev V. M., *Rechnoi stok i gidrologicheskie raschety* (River runoff and hydrological calculations), Moscow: Izd. MGU, 1990, 304 p.
4. Kireeva M. B., Frolova N. L., *Sovremennye osobennosti vesennego polovodya rek basseina Dona* (Actual features of the spring flood on the rivers of the Don river basin), *Water industry of Russia*, 2013, No. 1, pp. 60–76.
5. Koronkevich N. I., *Vodnyi balans Russkoi ravniny i ego antropogennye izmeneniya* (Water balance of Russian plain and its anthropogenic changes), Moscow: Nauka, 1990, 205 p.
6. Mikhailov V. N., Dobrovol'skii A. D., Dobrolyubov S. A., *Gidrologiya* (Hydrology), Moscow: Vysshaya shkola, 2005, 463 p.
7. Frolova N. L., *Gidrologiya rek (antropogennye izmeneniya rechnogo stoka)* (Hydrology of rivers (human-induced changes in river flow)), Moscow: Geograficheskii fakul'tet MGU, 2006, 111 p.
8. Shiklomanov I. A., *Vodnye resursy Rossii i ih ispol'zovanie* (Water resources of Russia and their use), Saint Petersburg: Gosudarstvennyi gidrologicheskij institut, 2008, 600 p.
9. Conrad C., Rahmann M., Machwitz M., Stulina G., Paeth H., Dech S., Satellite based calculation of spatially distributed crop water requirements for cotton and wheat cultivation in Fergana Valley, Uzbekistan, *Global and Planetary Change*, 2013, Vol. 110, pp. 88–98.
10. Mouat D. A., Lancaster J., Use of remote sensing and GIS to identify vegetation change in the upper San Pedro River watershed, Arizona, *Geocarto International*, 2008, Vol. 11, pp. 55–67.
11. Sheeja R. V., Sabu J., Jaya D. S., Baiju R. S., Land use and land cover changes over a century (1914–2007) in the Neyyar River Basin, Kerala: a remote sensing and GIS approach, *Intern. J. Digital Earth*, 2011, Vol. 4, No. 3, pp. 258–270.
12. Thenkabil P. S., Schull M., Turrall H., Ganges and Indus river basin land use/land cover (LULC) and irrigated area mapping using continuous streams of MODIS data, *Remote Sensing of Environment*, 2005, Vol. 95, pp. 317–341.