



УДК 551.48+556

ТРЕНДЫ ИЗМЕНЕНИЯ ГОДОВОГО И СЕЗОННОГО СТОКА Р. СЕВЕРСКИЙ ДОНЕЦ ЗА ПЕРИОД ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ (НА ТЕРРИТОРИИ БЕЛГОРОДСКОЙ ОБЛАСТИ)**TRENDS IN ANNUAL AND SEASONAL RUNOFF OF THE SEVERSKIY DONETS RIVER FOR THE PERIOD INSTRUMENTAL HYDROLOGICAL OBSERVATIONS (IN THE BELGOROD REGION)****А.Г. Корнилов, М.Г. Лебедева, В.С. Решетников
A.G. Kornilov, M.G. Lebedeva, V.S. Reshetnikov***Белгородский государственный национальный исследовательский университет,
Россия, 308015, г. Белгород, ул. Победы, 85**Belgorod State National Research University, 85 Pobeda St, Belgorod, 308015, Russia**E-mail: kornilov@bsu.edu.ru; lebedeva_m@bsu.edu.ru; leadstarr@rambler.ru*

Аннотация. Динамика изменения стока рек на территории Белгородской области и ее существующие прогнозные количественные оценки требуют периодического уточнения и детализации по мере накопления новых данных и получения результатов дополнительных исследований. В этой связи особую значимость имеет изучение и оценка изменений гидрологического режима р. Северский Донец как крупнейшей речной артерии Белгородской области. Антропогенные и климатические факторы обуславливают изменения сезонного стока в сторону незначительного увеличения водности зимнего периода с одновременным снижением вероятности экстремально-высоких значений весеннего стока в регионе. В результате проведенного исследования выявлены тренды на снижение годового и сезонного стока р. Северский Донец на фоне прогрессирующего дефицита поверхностного и подземного питания вод в регионе, обусловленного влиянием климатических и антропогенных факторов.

Résumé. Dynamics of changes in river flow on the territory of Belgorod region and its existing predictive quantitative estimates require periodic refinement and detail of the accumulation of new data and obtaining the results of investigations. In this connection special importance is the study and evaluation of changes in the hydrological regime of the Severskiy Donets river as a major artery of the Belgorod region. Anthropogenic and climatic factors lead to changes in seasonal runoff in the direction of a slight increase in the water content of the winter period with simultaneous reduction of the probability of extreme high values of the spring runoff in the region. The result of the study revealed trends in average annual and seasonal runoff of the Severskiy Donets river in the background of progressive scarcity of surface and underground water supply in the region due to the influence of climatic and anthropogenic factors. The changes in temperature and precipitation in the region in the period from 1961 to 2015 there are deviations from the norm. A distinctive feature of these climatic characteristics – multi-year trend of rising temperatures along with a slight decrease in precipitation for the period. For the period 1961–2015, annual average air temperature increased by 0.4°C. Annual sum of atmospheric precipitation has deviated from the norm by no more than 6.7%. The correlation coefficient between the annual averages of the air temperature and the amount of river flow amounted to -0.37, and the correlation coefficient for annual values of precipitation and streamflow of the river amounted to 0.54. Given climatic factors have a direct impact on the formation of the water regime of the river Severskiy Donets, therefore in the long mode, there is a pronounced trend in the decline of the average annual flow of the river. Negative deviation values of water flows from the average annual rate of 12%. The greatest loss of runoff test in the spring period, where the deviation from the average norm is 36.87%. Seasonal distribution of runoff of the river Severskiy Donets is uneven. For an average water year, the largest share of flow of 42.2% is in the period of spring flood, 39.2% during summer-autumn low water period and 18.6% for the period of winter low water. The formation of river runoff of the river Severskiy Donets occurs when water scarcity as the main flow falls in a short period of spring flood. Anthropogenic influence on the water regime in recent years has negative trends. The volume of wastewater discharge into the watercourses below the total volume of water intake for economic needs. However, in the last decade there has been a trend in the reduction of water intake from underground sources. These findings provide a fundamental basis for further work on the analysis of the components of the water regime of the rivers of the Central Black Earth region.

Ключевые слова: годовой сток, гидрологический режим, внутригодовое распределение стока, климатические факторы, антропогенное влияние.

Key words: annual runoff, the hydrologic regime, seasonal distribution of runoff, climatic factors, anthropogenic influence.



Введение

Положение Белгородской области на границе лесостепной и степной зон определяет многообразие природных условий и специфичность факторов формирования стока. Кроме того, геологические и почвенно-растительные условия территории внесли свои коррективы в образование стока рек [Шикломанов и др., 2007]. основополагающими характеристиками при выявлении трендов изменения стока выступают климатические ресурсы (в частности, температурный режим воздуха и атмосферные осадки) и внутригодовое распределение стока.

Бассейн р. Северский Донец, притока р. Дон, расположен на территории Белгородской области, в верховьях бассейна р. Дон, в лесостепной зоне, для которой характерен дефицит водных ресурсов. В летнюю и зимнюю межень река испытывает дефицит стока [Petin et al., 2014], что весьма ограничивает возможности использования речной воды для нужд населения и осложняет экологическое состояние аквальных экосистем.

Объекты и методы исследования

Объектом исследования явились годовой и сезонный сток р. Северский Донец за период инструментальных гидрологических наблюдений с 1961 по 2015 водохозяйственные годы. Исходными данными послужили данные стандартных гидрологических наблюдений на гидрологическом посту 1 разряда ГП1 Киселево – р. Северский Донец, открытого Гидрометом в 1961 г. Для анализа климатических условий, влияющих на поверхностное питание р. Северский Донец, использовались данные авиационной метеорологической станции АМСГ Белгород, расположенной на территории международного аэропорта г. Белгород и производящей наблюдения с 1951 г. Расстояние между пунктами наблюдений составляет 14 км. [Фондовые материалы ...]. Антропогенное воздействие на подземное питание оценивалось на основании данных отдела водных ресурсов ДБВУ за 2008–2015 гг. Обработка данных наблюдений производилась в соответствии с методиками, принятыми в Росгидромете [Андреянов, 1960].

Результаты и их обсуждение

Особенности многолетней динамики климатических характеристик региона и степень их соответствия климатическим нормам [Научно-прикладной ..., 2007] отражены в таблице 1.

В изменениях температуры и осадков по годам прослеживаются отклонения от нормы. Среднегодовые значения температуры воздуха увеличились на 0.4°C . Изменение данного показателя в течение рассматриваемого периода описывается линейным трендом вида $y=0.038\cdot x+5.8406$. Наиболее выражены тенденции повышения температур зимнего периода, описываемые линейным трендом вида $y=0.0557\cdot x-7.424$. Это подтверждает выводы о потеплении климата в рассматриваемый период преимущественно по зимнему типу.

Атмосферные осадки не имеют ярко выраженных трендов. Их среднегодовое количество имеет отклонение от нормы в пределах 6.7%.

Таким образом, на исследуемой территории выражены многолетние тенденции роста температур наряду с незначительным снижением количества осадков за рассматриваемый период. Наблюдаемая климатическая рецессия обуславливает изменения в стоках рек [Корнилов и др., 2012]. Наглядно данный процесс представлен на рисунке 1.

Отрицательное отклонение расходов воды от среднегодовой нормы в $29.9\text{ м}^3/\text{с}$ составило 12%. Сезонная изменчивость расходов воды проявляется по-разному. Наибольшие потери сток испытывает в весенний период, где отклонение от среднегодовой нормы в $12.99\text{ м}^3/\text{с}$ составило 36.87%. В периоды летне-осенней межени и в зимний сезон расходы воды возросли (рис. 2–4).



Таблица 1
Table 1

**Среднемесячные и среднегодовые показатели температуры и осадков
в г. Белгороде (1961–2015 гг.)**
**Monthly average and average annual indicators of temperature and precipitation
in Belgorod (1961–2015)**

Параметр	Месяцы												Год
	Январь	Февраль	Март	Апрель	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь	Декабрь	
Температура воздуха, °С													
Климатическая норма (1961–1990)	-8.0	-6.8	-1.8	7.6	14.8	17.8	19.4	18.7	13.2	6.6	0.3	-4.1	6.5
Фактическое значение	-6.9	-6.3	-0.9	8.3	15.0	18.3	20.0	19.1	13.4	6.8	0.4	-4.4	6.9
Отклонение от нормы	+1.1	+0.5	+0.9	+0.7	+0.2	+0.5	+0.6	+0.4	+0.2	+0.2	+0.1	-0.3	+0.4
Осадки, мм													
Климатическая норма (1961–1990)	52	40	36	46	48	67	72	53	49	40	52	50	605
Фактическое значение	43.2	36.2	35.4	37.5	49.1	62.1	67.8	47.5	50.9	42.6	44.2	47.5	564
Отклонение от нормы	-8.8	-3.8	-0.6	-8.5	+1.1	-4.9	-4.2	-5.5	+1.9	+2.6	-7.8	-2.5	-41.0

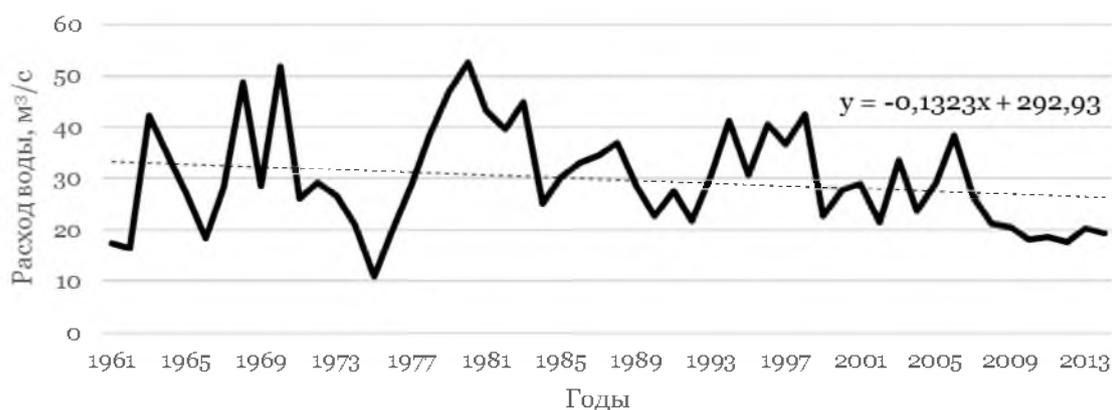


Рис. 1. Среднегодовой расход воды по р. Северский Донец (с. Киселево)
Fig. 1. The average annual water runoff over the Seversky Donets river (Kiselevo vill.)

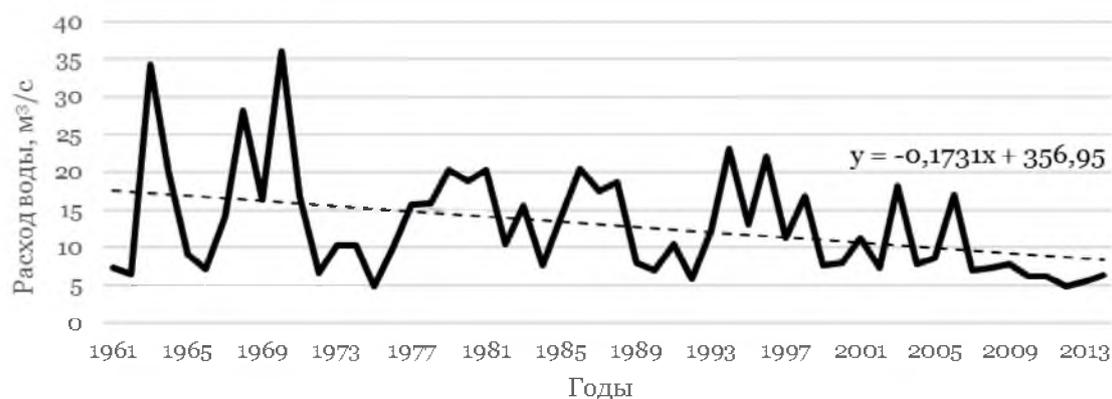


Рис. 2. Среднегодовой расход воды в весенний период по р. Северский Донец (с. Киселево)
Fig. 2. The average annual water runoff in spring over the Seversky Donets river (Kiselevo vill.)

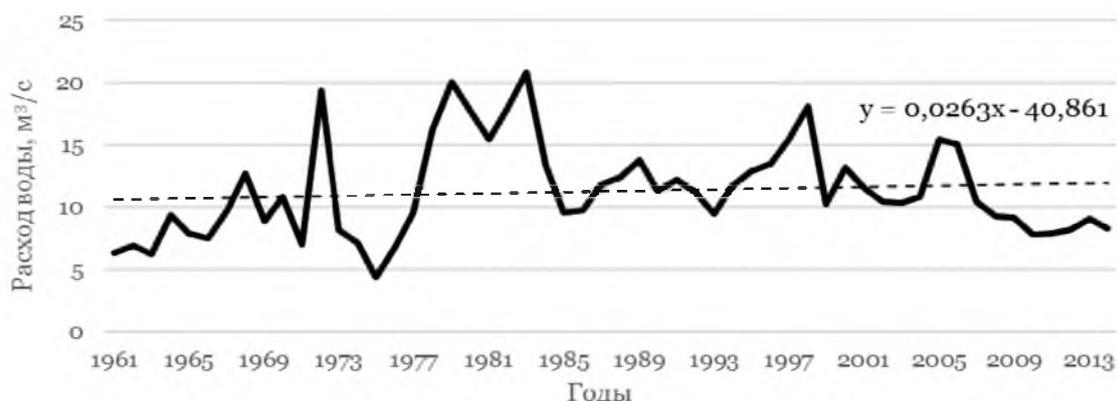


Рис. 3. Среднегодовой расход воды в период летне-осенней межени по р. Северский Донец (с. Киселево)

Fig. 3. The average annual water runoff in summer-autumn low water period over the Seversky Donets river (Kiselevo vill.)

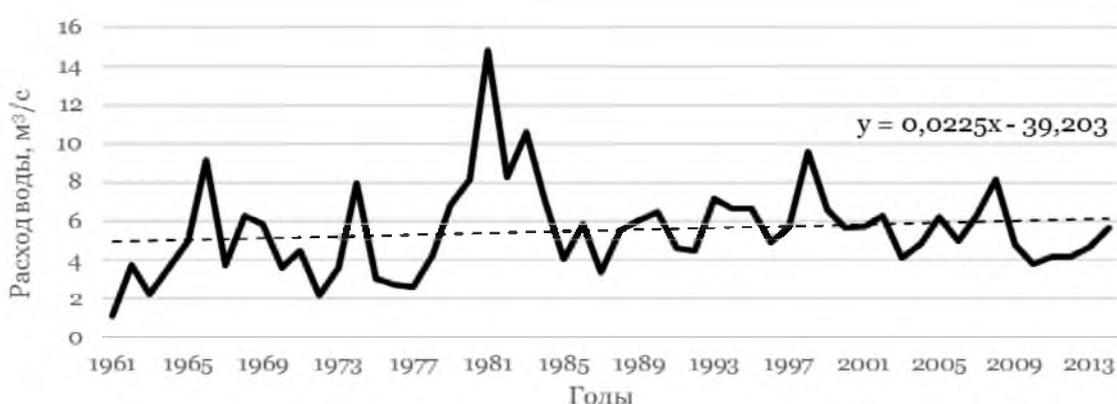


Рис. 4. Среднегодовой расход воды в зимний период по р. Северский Донец (с. Киселево)

Fig. 4. The average annual water runoff in winter over the Seversky Donets river (Kiselevo vill.)

Как видно из графиков, снижение среднегодовых расходов воды обусловлено, в первую очередь, снижением стока в весенний период на величину, превышающую 9 м³/с. Данная тенденция имеет место практически на всем периоде инструментальных наблюдений. По этой причине на протяжении последнего десятилетия на исследуемой территории из года в год наблюдается все менее выраженное половодье [Решетникова и др., 2010]. Незначительное повышение стока на 1.5–2 м³/с в периоды зимней и летне-осенней межени не может компенсировать темпов уменьшения весенних показателей. Изменение среднегодовых расходов в большей степени зависит от динамики атмосферных осадков, чем от температурного режима, при этом зависимость стока от климатических характеристик носит слабовыраженный характер. Коэффициент корреляции влияния среднегодовых значений температуры воздуха на динамику стока реки составил –0.37, коэффициент корреляции влияния годовых сумм осадков на динамику стока составил 0.54. Корреляция стока с климатическими характеристиками вычислялась по формуле:

$$r(u, v) = \frac{\sum(u_i - \bar{u})(v_i - \bar{v})}{\sqrt{\sum(u_i - \bar{u})^2} \sqrt{\sum(v_i - \bar{v})^2}}$$

Для полноты выводов рассмотрим внутригодовое распределение стока р. Северский Донец в период с 1961 по 2015 водохозяйственные годы.



Оценка внутригодового распределения стока по объекту нашего исследования проведена по методу В.Г. Андреянова [1960]. В настоящее время данная методика наиболее объективна и удовлетворяет современным требованиям водохозяйственного проектирования.

Для расчета годового распределения стока реки по данному методу определяется внутрисезонное распределение стока. В связи с тем, что внутригодовое распределение стока зависит от водности сезона, расчет произведен для разных групп водности – многоводной, средневодной и маловодной – с равным числом лет в каждой группе. Длительность и границы гидрологических сезонов приняты следующие: весна (март–май), лето–осень (июнь–ноябрь), зима (декабрь–февраль).

Лимитирующий период года и сезон выбраны, исходя из относительной водности сезона. За лимитирующий период принята межень (оба маловодных сезона: лето–осень и зима), а за лимитирующий сезон – зима.

Полученные результаты подтверждают выявленный факт, что основная часть речного стока проходит в весенний сезон, а наименьшая – в зимний. Результаты вычислений приведены в таблице 2.

Таблица 2

Table 2

**Распределение стока реки Северский Донец для лет разной обеспеченности (в процентах от годового стока)
The distribution of the Seversky Donets river runoff for different years of availability (in percentage of annual runoff)**

Обеспеченность года, %	Весна				Лето–осень							Зима			
	Март	Апрель	Май	Сумма	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь	Сумма	Декабрь	Январь	Февраль	Сумма
25	30.5	9.2	5.2	44.9	5.6	4.5	5.2	6.0	8.5	6.5	36.4	4.3	5.7	8.7	18.7
50	23.6	11.4	7.2	42.2	6.2	5.0	5.7	6.6	8.3	7.4	39.2	4.9	6.0	7.8	18.6
75	17.6	12.8	8.3	38.7	6.6	5.0	5.9	7.3	9.6	8.4	42.8	4.8	6.1	7.5	18.5

Согласно данным таблицы 2 в зимние месяцы (декабрь–февраль) величина стока р. Северский Донец для среднего по водности года составляет 4.9–7.8%, для маловодного года 4.8–7.5%, для многоводного года 4.3–8.7%.

В весенние месяцы величина стока рек, в зависимости от сроков начала и продолжительности половодья, колеблется в значительных пределах. В марте сток составляет для среднего по водности года 7.2–23.6%, для маловодного года 8.3–17.6%, для многоводного года 5.2–30.5%. Максимум стока приходится на март.

В летние и осенние месяцы величина стока не испытывает существенных колебаний. Наиболее низкий сток наблюдается в течение июля-августа. Величина его колеблется в диапазоне 4.5–5.9%.

В летне-осеннюю межень величина стока в среднем составляет 6.5–9.6% от годового значения. Максимальный сток при этом наблюдается в течение октября-ноября. Данная тенденция обусловлена тем, что в этот период снижается влияние водной растительности на сток в связи с ее сезонный отмиранием [Фондовые материалы ...].

Распределение стока по месяцам внутри различных сезонов неодинаково. Результаты расчетов внутрисезонного распределения стока приведены в таблице 3.

Таблица 3

Table 3

Внутрисезонное распределение стока для разных групп водности сезона (в процентах от сезонного стока)
Intraseasonal distribution of runoff for different groups of the water content of the season (in percentage of seasonal runoff)

Группа водности сезона	Весна			Лето–осень						Зима		
	Март	Апрель	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь	Декабрь	Январь	Февраль
Многоводная (25%)	67.91	20.51	11.58	15.33	12.36	14.32	16.61	23.42	17.97	23.02	30.32	46.66
Средневодная (50%)	55.88	26.97	17.15	15.89	12.77	14.49	16.83	21.19	18.83	26.29	31.96	41.75
Маловодная (75%)	45.46	33.20	21.34	15.37	11.59	13.83	17.16	22.36	19.69	26.19	33.11	40.70
Среднее	56.42	26.89	16.69	15.53	12.24	14.21	16.86	22.32	18.83	25.17	31.80	43.04

Внутрисезонное распределение стока носит неравномерный характер. Наиболее неравномерное распределение наблюдается в весенний период. Наибольший месячный сток на р. Северский Донец приходится на март и составляет 56.42%, а наименьший – на июнь и равен 12.24% от объема летне-осеннего стока.

Распределение стока внутри летне-осеннего сезона характеризуется неоднородностью. В период с начала сезона до июля месячный сток уменьшался, а затем постепенно повышался вплоть до скачка в октябре на величину 21.19–23.42% от сезонного значения, после чего снова наблюдалось снижение стока.

В зимний сезон сток распределялся следующим образом. Наибольшая величина стока приходится на февраль и составляет 43.04% от зимнего стока. Наименьший средний месячный сток в декабре составляет 25.17% от сезонного. Такой характер распределения стока внутри сезона объясняется наличием тало-дождевых паводков в зимний период.

Наглядное представление о характере изменения стока в течение года дают гидрографы стока. На рисунке 5 показано изменение стока в многоводный и маловодный годы на р. Северский Донец.

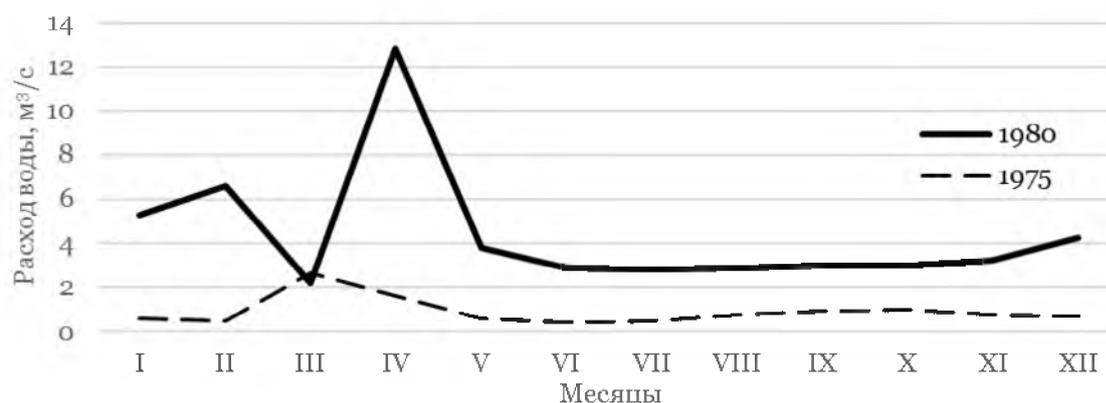


Рис. 5. График колебания стока по р. Северский Донец (с. Киселево):
1980 г. – многоводный год, 1975 г. – маловодный год

Fig. 5. The graph of the runoff fluctuations over the Seversky Donets river (Kiselevo vill.):
1980 – wet year, 1975 – shallow-water year

Таким образом, изменения стока в межень по р. Северский Донец не столь значительны по сравнению с изменениями его в период весеннего половодья. Главный тренд последних десятилетий – снижение вероятности экстремально-высоких значений весеннего стока.



Для оценки антропогенного воздействия на динамику стока р. Северский Донец нами была произведена сравнительная оценка объемов забора и сброса воды в р. Северский Донец на территории Белгородского района в течение последнего десятилетия [Отчет отдела ...]. Результаты сравнения приведены на рисунке 6.

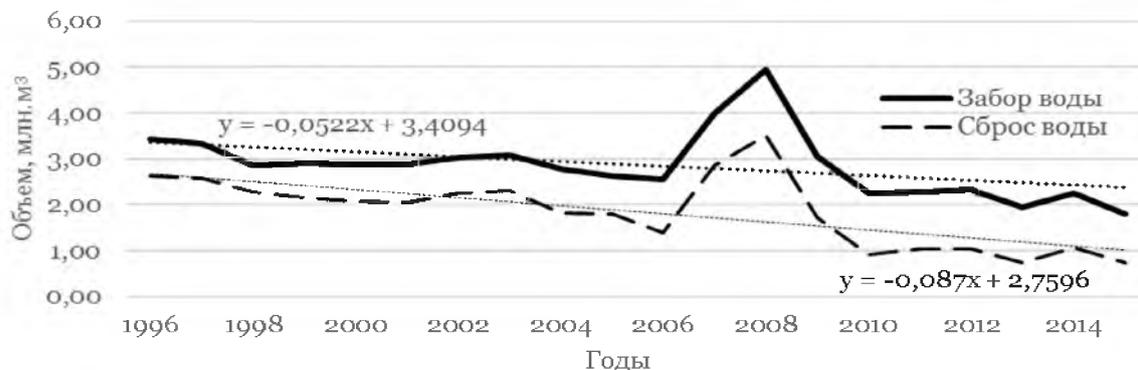


Рис. 6. Забор и сброс воды по р. Северский Донец (Белгородский район)
 Fig. 6. The withdrawal and discharge of water over the Seversky Donets river (Belgorod district)

Графики отражают немаловажный фактор формирования стока реки. Объемы сброса отработанных вод в водотоки ниже суммарного объема забора воды для хозяйственных нужд. Однако, в последнее десятилетие наметился тренд на сокращение забора воды из подземных источников.

Полученные результаты обеспечивают фундаментальную базу для проведения дальнейшей работы по анализу составляющих водного режима рек Центрально-Черноземного региона.

Выводы

В изменениях температуры и осадков исследуемого региона в период с 1961 по 2015 годы прослеживаются отклонения от нормы. Отличительная черта указанных климатических характеристик – многолетние тенденции роста температур наряду с незначительным снижением количества осадков за рассматриваемый период. За период 1961–2015 гг. среднегодовое значение температуры воздуха увеличилось на 0.4°C. Годовая сумма атмосферных осадков отклонились от нормы не более чем на 6.7%. Коэффициент корреляции между среднегодовыми значениями температуры воздуха и величиной стока реки составил –0.37, коэффициент корреляции для годовых величин осадков и значений стока реки составил 0.54.

Приведенные климатические факторы оказывают прямое воздействие на формирование водного режима р. Северский Донец, в связи с чем в многолетнем режиме наблюдается выраженный тренд на снижение среднегодового стока данной реки. Отрицательное отклонение величин расходов воды от среднегодовой нормы составляет 12%. Наибольшие потери сток испытывает в весенний период, где отклонение от среднегодовой нормы составляет 36.87%.

Внутригодовое распределение стока р. Северский Донец носит неравномерный характер. Для среднего по водности года наибольшая доля стока 42.2% приходится на период весеннего половодья, 39.2% – на период летне-осенней межени и 18.6% – на период зимней межени.

Формирование речного стока р. Северский Донец происходит при дефиците водных ресурсов, поскольку основной сток приходится на короткий период весеннего половодья. Антропогенное влияние на водный режим в последние годы не имеет негативных тенденций. Объемы сброса отработанных вод в водотоки ниже суммарного объема забора воды для хозяйственных нужд. Однако, в последнее десятилетие наметился тренд на сокращение забора воды из подземных источников.



Список литературы References

1. Андреев В.Г. 1960. Внутригодовое распределение речного стока. Л., Гидрометеоздат, 328.
Andreyanov, V.G. 1960. The intra-annual distribution of river runoff. Leningrad, Gidrometeoizdat, 328. (in Russian)
2. Корнилов А.Г., Лебедева М.Г., Гордеев Л.Ю. 2012. Вклад атмосферных осадков теплого периода года в расходы воды в реках Белгородской области. *Научные ведомости БелГУ. Естественные науки*, 20 (15): 151–155.
Kornilov A.G., Lebedev M.G., Gordeev L.Y. 2012. The contribution of precipitation of the warm period of the year the water flow in the rivers of Belgorod region. *Belgorod State University Scientific Bulletin. Natural sciences*, 20 (15): 151–155. (in Russian)
3. Научно-прикладной справочник «Климат России». 2007. URL: <http://meteo.ru/pogoda-i-klimat/197-nauchno-prikladnoj-spravochnik-klimat-rossii> (20 января 2017 г.).
Scientific-applied Handbook "Climate of Russia". 2007. Available at: <http://meteo.ru/pogoda-i-klimat/197-nauchno-prikladnoj-spravochnik-klimat-rossii> (accessed 20 January 2017). (in Russian)
4. Решетникова Л.К., Лебедева М.Г., Петина М.А. 2010. Многолетняя динамика стока рек юга Центрально-Черноземного региона. В кн.: Проблемы природопользования и экологическая ситуация в Европейской России и сопредельных странах. Материалы IV международной научной конференции (г. Белгород, 11–14 октября 2010 г.). М.–Белгород: 316–321.
Reshetnikova L.K., Lebedeva M.G., Petina M.A. 2010. Long-term dynamics of river runoff in the South Central black earth region. In: Problemy prirodnopol'zovanija i jekologicheskaja situacija v Evropejskoj Rossii i sopredel'nyh stranah. Materialy IV mezhdunarodnoj nauchnoj konferencii (g. Belgorod, 11–14 oktjabrja 2010 g.) [Problems of nature and environmental situation in European Russia and adjacent countries. Materials of the IV International Scientific Conference (Belgorod, 11–14 October 2010)]. Moscow–Belgorod: 316–321. (in Russian)
5. Отчет отдела водных ресурсов по Белгородской области ДБВУ за 2008–2015 гг.
Report of the Department of water resources in the Belgorod region of the DBWM (the Don Basin Water Management) for 2008–2015. (in Russian)
6. Шикломанов И.А., Балонишникова Ж.А., Георгиевский В.Ю. 2007. Гидрологические последствия изменений климата и их влияние на социально-экономические условия. В кн.: Прогнозирование и адаптация общества к экстремальным климатическим изменениям. Сборник пленарных докладов Международной конференции по проблемам гидрометеорологической безопасности (г. Москва, 26–29 сентября 2006). М., Гидрометцентр России: 295–311.
Shiklomanov I.A., Balonishnikova J.A., Georgievsky V.Yu 2007. Hydrological consequences of climate change and their impact on the socio-economic conditions. In: Prognozirovanie i adaptacija obshhestva k jekstremal'nyh klimaticheskim izmenenijam. Sbornik plenarnyh dokladov Mezhdunarodnoj konferencii po problemam gidrometeorologicheskoi bezopasnosti (g. Moskva, 26–29 sentjabrja 2006) [Forecasting and adaptation of the society to extreme climate changes. The proceedings of plenary papers International Conference on the problems of hydrometeorological security (Moscow, 26–29 September 2006)]. Moscow, Hydrometcentre of Russia: 295–311. (in Russian)
7. Фондовые материалы Белгородского центра по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды за 1961–2015 гг.
Materials of the Belgorod center for Hydrometeorology and environmental monitoring for 1961–2015. (in Russian)
8. Petin A.N., Lebedeva M.G., Krymskaya O.V., Chendev Y.G., Kornilov A.G., Lupo A.R. 2014. Regional manifestation of changes in atmospheric circulation in the central black earth region (by the example of Belgorod region). *Advances in Environmental Biology*, 8 (10): 544–547.