

ПОСТРОЕНИЕ ВОДООХРАННОЙ СТРАТЕГИИ ДЛЯ РЕЧНОГО БАССЕЙНА: МЕТОДОЛОГИЯ И АЛГОРИТМЫ

Беляев С. Д.

ФГБУ «Российский НИИ комплексного использования и охраны водных ресурсов»,
г. Екатеринбург, Россия
Belyaev@wrm.ru

Ключевые слова: бассейн, качество воды, целевые показатели, приоритеты, планирование, учет природных условий.

Основным инструментом долгосрочного планирования водохозяйственной, в т. ч. водоохранной, деятельности являются Схемы комплексного использования и охраны водных объектов (СКИОВО). В условиях отсутствия утвержденного методического обеспечения подходы к установлению целей и приоритетов водоохранной деятельности в утвержденных СКИОВО существенно различаются. Основная проблема – отсутствие регламентированного способа учета пространственной дифференциации природных условий формирования качества воды. В докладе излагаются методология и алгоритмы установления целевых показателей качества воды и определения приоритетов водоохранной деятельности в масштабах речного бассейна с учетом пространственной дифференциации природных условий и антропогенных факторов. Приводится пример их применения в бассейне р. Обь.

ARRANGEMENT OF A WATER/PROTECTIVE STRATEGY FOR A RIVER BASIN: METHODOLOGY AND ALGORITHMS

Belyaev S. D.

Russian Research Institute for Integrated Water Management and Protection,
Ekaterinburg, Russia
Belyaev@wrm.ru

Key words: river basin, water quality objectives, priorities, planning, natural conditions.

The main tool for long-term planning of water/economic (including water/protective) activities is Scheme of Water Bodies Integrated Use and Protection (SKIOVO). In the absence of the approved methodical basis the approaches to the water/protective activities targeting and prioritizing differ significantly. The main problem is the unavailability of the strictly defined method of taking into consideration the spatial differentiation of water quality formation natural conditions. Methodology and algorithms of the water quality objectives setting and determination of the water/protective priorities at the river basin scale with taking into consideration the anthropogenic factors and the natural conditions spatial differentiation are reported. Their application is illustrated with the Ob River as a study case.

Проведенный автором анализ проблем оценки качества воды поверхностных водных объектов (ВО), регулирования антропогенных воздействий на ВО, определения целей и приоритетов водоохранной деятельности в речном бассейне [1–4] привел к следующим выводам:

- 1) используемые на практике инструменты установления целевого состояния ВО без учета разнообразия природных факторов не отвечают современным научным представлениям о

формировании качества поверхностных вод и требованиям действующего законодательства, что снижает эффективность водоохранных мероприятий;

- 2) отсутствие единой методологической базы и утвержденных процедур (алгоритмов) установления целей и приоритетов водоохранной деятельности привело к существенной разнородности и недостаточной обоснованности подходов к решению этих задач в рамках СКИОВО;
- 3) наиболее подходящим инструментом для учета пространственной дифференциации природной среды при планировании водоохранной деятельности в российских условиях являются целевые показатели качества воды (ЦП), узаконенные в [5];
- 4) разработка методологии построения водоохранной стратегии в речном бассейне, а также основанных на ней алгоритмов определения целей и приоритетов водоохранной деятельности, пригодных для применения в практике государственного планирования, является актуальной научной задачей, имеющей большое практическое значение.

Термин ЦП в официальных международных документах был впервые использован в [6]. Развитие и адаптация этого термина к российским условиям привели нас к следующему определению.

Целевые показатели качества воды поверхностных водных объектов – значения химических и физических показателей качества воды, на достижение которых направлены водоохранные мероприятия СКИОВО. ЦП устанавливаются для участков речного бассейна (РУ), выделенных по различию природных условий. Значения ЦП рассчитываются в общем случае на основе данных наблюдений за качеством воды на эталонных (не подверженных ощутимому антропогенному воздействию) пунктах контроля качества воды (ПКК), расположенных на РУ.

Очевидно, что определенные подобным образом ЦП косвенно учитывают и те антропогенные факторы, которые не могли по тем или иным причинам быть идентифицированы или управление которыми в настоящий момент не представляется возможным. К таким факторам можно отнести, например, многолетнее техногенное загрязнение водосборных территорий старопромышленных регионов.

При таком определении ЦП не являются ни нормативами качества воды, ни региональным фоном. Это – отраслевые долгосрочные цели, для достижения которых в рамках СКИОВО разрабатывается план бассейновых водоохранных мероприятий. ЦП являются параметрами управления водными ресурсами и водопользованием, которые назначает и контролирует один орган государственного управления – бассейновое водное управление (при согласовании с бассейновым советом в рамках процедур утверждения СКИОВО). Так создаются предпосылки к искоренению существующего пересечения полномочий органов управления в рассматриваемой сфере, достигается рекомендуемое в теории управления максимальное приближение субъекта управления к объекту.

Использование ЦП при управлении водопользованием и планировании водоохранной деятельности позволяет (в отличие от ПДК_{рх} [7]) учитывать существующие территориальные особенности формирования химического состава поверхностных вод, что создает предпосылки для обоснованного выбора приоритетных водоохранных мероприятий.

Общий порядок определения приоритетов водоохранной деятельности в речном бассейне в рамках предлагаемого подхода может быть представлен следующим образом:

- по результатам анализа наличия источников антропогенного воздействия выбираются эталонные ПКК;
- по сходству/различию природных условий формирования качества воды бассейн разбивается на расчетные участки (РУ);
- на каждом РУ определяются ЦП;
- по каждому ПКК производится уточнение ЦП, исходя из принципа «неухудшения качества воды»;

- по каждому ПКК устанавливаются приоритетные загрязняющие вещества (ЗВ¹) (те, концентрации которых превышают значения ЦП);
- последовательно (от истока к замыкающему створу) определяются основные управляемые источники поступления приоритетных ЗВ (в случае невозможности установления источников формулируются потребности в дополнительной информации);
- составляется программа бассейновых водоохранных мероприятий, направленная на сокращение поступления приоритетных ЗВ от основных источников, а также на получение необходимой дополнительной информации;
- осуществляется план мероприятий программы;
- достигнутые концентрации ЗВ сопоставляются с ЦП;
- если ЦП не достигнуты, анализируются причины, намечаются дополнительные мероприятия, производится уточнение ЦП (по дополненным данным), осуществляется повтор цикла п.п. 2–9 (возможно, и начиная с п. 1).

Кратко поясним каждый из перечисленных пунктов.

Выбор эталонных ПКК. Обязательное требование к эталонному ПКК – отсутствие выше него зарегистрированных, т. е. зафиксированных в отчетности по форме 2-ТП (водхоз), выпусков сточных вод в поверхностные ВО.

Различаем три типа эталонных ПКК по наличию выше них других (кроме выпусков в ВО) источников антропогенного воздействия:

- а* – нет «выпусков на рельеф» (по форме 2-ТП (водхоз); коды типа приемника 80–83), нет населенных пунктов и сельхозугодий (по карте, спутниковым снимкам);
- б* – нет «выпусков на рельеф», но есть малые населенные пункты и/или сельхозугодия;
- в* – есть выпуски на рельеф.

Эталонные ПКК и их тип отмечаются на используемой картографической основе.

Выделение расчетных участков. Выделение РУ производится на основе анализа природных условий формирования качества воды поверхностных ВО с использованием тематических карт. Предлагается следующий порядок установления границ РУ.

- 1) На карту речного бассейна выносятся границы физико-географических зон (областей) и ПКК (с выделением эталонных ПКК).
- 2) Производится предварительное разбиение бассейна по границам физико-географических зон (областей). При этом предварительные границы РУ, по возможности, совмещаются с близлежащими границами ВХУ, или водоразделами, или водотоками.
- 3) На основе анализа тематических карт (главным образом – ландшафтно-геохимической) производится дополнительное членение предварительных РУ с учетом существенных факторов, имеющих потенциальное влияние на формирование качества поверхностных вод, а также расположения эталонных ПКК.
- 4) Если границы между РУ проходят по ВО (водотоку) и/или пересекают его, то участок ВО вдоль/между границами РУ выделяется в спецучасток (СУ) для учета при назначении ЦП на этом участке ВО факторов формирования качества воды выше, справа и слева по течению от СУ.
- 5) Границы РУ и СУ выносятся на карту речного бассейна.

Алгоритм определения значений ЦП. Для расчета значений ЦП используются данные многолетних наблюдений по эталонным ПКК. Предпочтительнее использовать данные по эталонным ПКК типа *а*. Если эталонного ПКК на РУ нет, применяется специальный алгоритм расчета. При наличии информации ЦП могут быть рассчитаны с учетом характерных фаз гидрологического режима (сезонов) по специальному алгоритму, сглаживающему неравномерность представления сезонов в ряду наблюдений [8]. Способы расчета ЦП по различным типам эталонных ПКК несколько отличаются.

¹ Под ЗВ будем понимать любую физико-химическую характеристику качества воды в ВО, например, как концентрацию железа, так и прозрачность. Под концентрацией – характеристику, соответствующую ЗВ. Если лучшее состояние ВО характеризуется большим значением характеристики (например, содержание растворенного O₂), то под ЗВ понимается обратная этой характеристике величина.

Значение ЦП при расчете по эталонным ПКК типа *a* принимается равным верхнему квартилю Q_3 распределения наблюдаемых значений концентрации соответствующего ЗВ. ЦП будет считаться достигнутым на каком-либо ПКК (не эталонном), если частота превышения его значения наблюдаемыми концентрациями за отчетный период составит не более 50 %. Иными словами: медиана наблюдаемых значений концентраций ЗВ на «грязном» ПКК будет не больше значения ЦП (рис. 1).

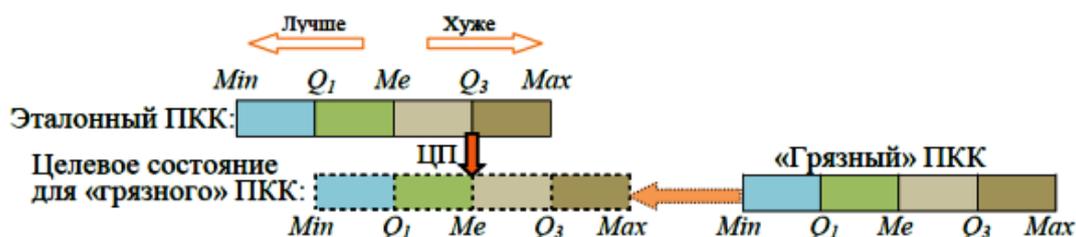


Рис. 1. Схема установления ЦП по ряду значений концентраций ЗВ, наблюдаемых на эталонном створе: ряды наблюдаемых значений концентраций ЗВ представлены в виде прямоугольников; *Min*– минимальное значение; Q_1 – нижний квартиль; *Me*–медиана; Q_3 – верхний квартиль; *Max*– максимальное значение.

Использование в качестве ЦП верхнего квартиля концентраций по данным эталонного ПКК, в отличие от медианы, позволяет не ставить в качестве цели для ВО, подверженных антропогенному воздействию, достижения концентраций ЗВ, характерных для ВО, находящихся в ненарушенном состоянии.

Если эталонных ПКК на РУ нет, применяется второй подход. Он состоит в статистической обработке данных по всем ПКК, расположенным на РУ. В этом случае ЦП принимается равным нижнему квартилю Q_1 наблюдаемых значений концентраций ЗВ. При использовании этого подхода желательно исключать из рассмотрения данные по ПКК, расположенным в непосредственной близости от выпусков сточных вод крупных предприятий. Подробное описание алгоритмов расчета значений ЦП (в т. ч. на спецучастках) и их корректировки можно найти в [8].

С учетом характера исходных данных, а также существующей практики оценки загрязнения ВО удобно представлять значения ЦП в виде кратности превышения ПДК_{рх} с точностью до целых. Статистические характеристики рядов наблюдений за концентрациями ЗВ представляются аналогично.

После того как ЦП установлены, производится оценка актуального состояния бассейна на основе сопоставления наблюдаемых на ПКК концентраций ЗВ с ЦП. ЗВ, медиана (*Me*) наблюдаемых значений концентраций которого за отчетный период выше ЦП, считается *приоритетным*. В такой терминологии целью водоохранной деятельности в речном бассейне является снижение концентраций приоритетных ЗВ до значений ЦП.

Поскольку ПДК_{рх}, при всех недостатках, может считаться некоторой мерой опасности ЗВ для биоты, принято решение сопоставлять наблюдаемые концентрации ЗВ не только с ЦП, но и с ПДК_{рх}.

Установлена следующая схема приоритетов (1 – высший приоритет):

1. $Me > ЦП \& Me > ПДК_{рх}$ (медиана наблюдаемых концентраций ЗВ превосходит и значение ЦП, и значение ПДК_{рх});
2. $Me > ЦП \& Me \leq ПДК_{рх}$;
3. $Me \leq ЦП \& Me > ПДК_{рх}$.

Определение источников поступления приоритетных загрязняющих веществ.

Водоохранные мероприятия должны быть направлены в первую очередь на сокращение поступления в водные объекты ЗВ приоритета 1, затем – 2 и т. д.

Выявление источников поступления приоритетных ЗВ осуществляется на основе расчета масс ЗВ по участкам бассейна между ПКК. Назовем такие участки «контрольными» (КУ). В расчете используются многолетние данные наблюдений за качеством воды и ее расходами, данные отчетности 2-ТП (водхоз), а также данные по выносу ЗВ с селитебных территорий, сельскохозяйственных угодий и животноводческих комплексов.

Предлагается следующий порядок выявления источников поступления приоритетного ЗВ.

- Определяется суммарная годовая масса ЗВ, поступившая в поверхностные ВО от учтенных точечных (по данным 2-ТП (водхоз)) и рассредоточенных (по данным исследований или расчетным) источников на КУ.
- Рассчитывается годовой расход массы ЗВ через ПКК, замыкающий КУ, как медиана произведений концентраций на расходы воды (по данным многолетних наблюдений).
- Определяется доля массы ЗВ, поступившая из учтенных источников, от расходов массы ЗВ через замыкающий ПКК. Если эта доля более 1 %, то мероприятиям по снижению поступления ЗВ придается приоритет, установленный для этого ЗВ. Такая высокая «чувствительность» (1 %) установлена с учетом возможных ошибок вычисления расходов масс ЗВ. Эти ошибки связаны с тем, что в действующей системе наблюдений пробы отбираются, чаще всего, из одной точки на ПКК, а степень неоднородности распределения ЗВ по ширине и глубине водотока может быть значительной [9, 10].
- После того как приоритеты установлены выбираются собственно источники (выпуски сточных вод, населенные пункты и т. п.), на которых следует проводить приоритетные мероприятия по сокращению поступления ЗВ в водные объекты. Среди источников выбираются те, от каждого из которых поступает не менее 5 % от суммарной массы соответствующего ЗВ, поступающей от всех источников на КУ. Опыт расчетов показывает, что такие основные источники дают обычно более 80 % от всей массы ЗВ, поступающей в ВО от источников загрязнения.

ЦП (а значит – и приоритеты) могут корректироваться по составу и численным значениям по мере накопления и обработки новой информации о состоянии водного объекта.

В реальных условиях вполне вероятна ситуация, когда при наличии приоритетного ЗВ не удастся найти управляемые источники его поступления. В этом случае ставится задача получения дополнительной информации по источникам поступления ЗВ и/или уточнению ЦП. Соответствующие мероприятия включаются в число приоритетных в СКИОВО.

Применимость предложенных алгоритмов при определении целей и приоритетов водоохранной деятельности в российских условиях была подтверждена в ходе разработки ряда СКИОВО [8, 11]. Для примера приведем схему расчетных участков (рис. 2) и значения ЦП (табл. 1) для гидрографической единицы 13.01.00. (Верхняя) Обь до впадения Иртыша.

Таблица. Значения годовых ЦП по расчетным участкам в долях ПДК_{рх}

Наименование ЗВ	ПДК _{рх} , мг/дм ³	РУ										
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Азот аммонийный	0,4	1	<	1	1	1	<	2	<	4	2	1
Азот нитратный	9	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<
Азот нитритный	0,02	<	<	1	<	<	<	1	<	<	<	<
Алюминий	0,04	1	<	1	1	<	1	1	1	1	1	1
АСПАВ	0,1*	<	<	<	<	<	<	<	<	1	<	1
БПК ₅	2*	1	1	2	1	1	1	2	2	1	1	1
Железо общее	0,1	1	2	1	2	1	5	6	2	18	13	17
Кадмий	0,005	<	<	<	<	<	<	<	<	1	1	1
Кальция ионы	180	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<
1/Кислород	1/4*(дм ³ /мг)	2	3	3	3	2	3	2	2	2	1	2
Магния ионы	40	<	<	1	<	<	<	<	<	<	<	<
Марганец	0,01	1	1	2	1	<	6	7	1	17	1	14
Медь	0,001	3	1	1	3	<	6	2	<	19	1	16
Нефтепродукты	0,05	3	5	4	8	2	1	8	4	10	9	2
Никель	0,01	1	1	1	1	<	1	1	1	<	1	<
Окисляемость бихроматная (ХПК)	15*	1	1	1	1	1	1	4	1	4	2	3
Ртуть	0,00001	1	<	<	<	<	<	<	<	1	1	1
Свинец	0,006	<	<	<	<	<	<	<	<	1	1	1
Сульфатные ионы	100	<	<	<	<	<	<	1	<	<	<	<
Сумма Na и K	170	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<
Сумма ионов	1000*	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<
Фенолы летучие	0,001	3	2	1	2	4	2	2	3	3	2	1
Фосфаты	0,2	<	<	<	1	<	<	<	<	1	<	<
Фториды	0,75	<	1	1	1	<	<	<	<	1	1	1
Хлоридные ионы	300	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<
Хром 6+	0,02	<	<	<	<	<	<	<	<	1	1	<
Цинк	0,01	<	<	<	<	<	4	<	<	3	1	2

Примечания: «<» – означает, что ЦП < 0,5 ПДК_{рх}, что соответствует ЦП = 0 в принятой системе округления ЦП до целых кратностей превышения ПДК_{рх}; употребляется во избежание неверной трактовки нулевого значения; «*» – отмечены значения, которых нет в числе ПДК_{рх}.

- значение ЦП определено по эталонным ПКК типа «а»;
- значение ЦП определено по эталонным ПКК типа «б»;
- значение ЦП определено по эталонным ПКК типа «в»;
- значение ЦП определено по ПКК, выше которых имеются выпуски сточных вод, по причине отсутствия информации по эталонным ПКК;
- значение ЦП уточнено по ПКК, выше которых имеются выпуски сточных вод, по причине недостатка информации по эталонным ПКК;
- значение ЦП установлено на уровне ПДК_{рх} по причине отсутствия информации.

Значения ЦП по азоту нитритному и нитратному, фосфатам, хлоридам, шестивалентному хрому – не превышают ПДК_{рх}. По всем другим показателям имеются превышения, по некоторым – весьма значительные. Значения ЦП отражают природные особенности РУ, а также не выявленные антропогенные воздействия. Обусловленность природными факторами высоких концентраций некоторых ЗВ для Верхней Оби подтверждается в ряде работ [12, 13].

Определение приоритетных ЗВ дает наглядное представление об основных направлениях водоохранной деятельности по участкам бассейна (рис. 3).

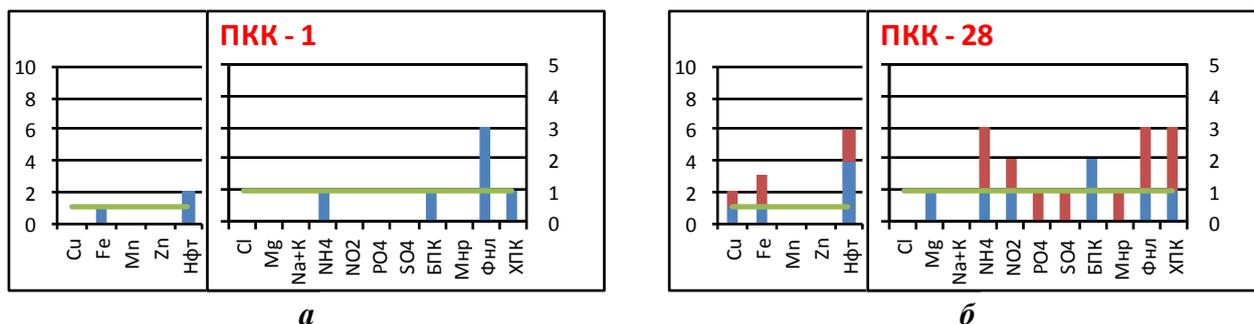


Рис. 3. Определение приоритетных загрязняющих веществ (концентрации, выраженные кратно ПДК_{рх} с точностью до целых): *а* – р. Кокши (ниже Алтайского государственного природного заповедника); *б* – р. Барнаулка (в черте г. Барнаула); ■ – ПДК_{рх}; ■ – ЦП (ненарушенное состояние); ■ – антропогенное загрязнение (превышение над ЦП).

Использование предложенной методологии и алгоритмов при государственном долгосрочном планировании водохозяйственных мероприятий в масштабах речных бассейнов обеспечивает:

- выявление тех проблем загрязнения поверхностных водных объектов, обусловленность которых антропогенным воздействием подтверждается имеющимися данными наблюдений;
- определение водоохраных задач, которые можно решить, воздействуя на управляемые источники поступления загрязняющих веществ;
- выделение среди управляемых источников поступления загрязняющих веществ тех, водоохранные мероприятия на которых дадут ощутимый эффект, что может стать объективным основанием для предоставления предусмотренных законом государственных преференций при реализации таких мероприятий;
- обоснование мер по сбору дополнительной информации, развитию системы мониторинга;
- учет накопленной информации в процессе регламентированной корректировки планов.

Практическая применимость изложенных подходов подтверждена их использованием при разработке целого ряда СКИОВО, получивших положительные заключения государственной экологической экспертизы, утвержденных и реализуемых.

Предложенные определения и алгоритмы готовы к повсеместному применению в рамках действующей системы управления водными ресурсами и водопользованием в Российской Федерации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Беляев С.Д.* Использование целевых показателей качества воды при планировании водохозяйственной деятельности // Водное хозяйство России. 2007. № 3. С. 3–17.
2. *Беляев С.Д.* Водный кодекс и практика нормирования // Водное хозяйство России. 2008. № 4. С. 4–14.
3. *Беляев С.Д.* О месте целевых показателей качества воды в СКИОВО // Водное хозяйство России. 2009, № 3. С. 61–78.
4. *Рисник Д.В., Беляев С.Д., Булгаков Н.Г., Левич А.П., Максимов В.Н., Мамихин С.В., Милько Е.С., Фурсова П.В., Ростовцева Е.Л.* Подходы к нормированию качества окружающей среды. Законодательные и научные основы существующих систем

- экологического нормирования // Успехи современной биологии. 2012. т. 132. № 6. С. 531–550.
5. Водный кодекс Российской Федерации от 3.06.2006 № 74-ФЗ. Режим доступа: <http://www.consultant.ru> (дата обращения: 14.03.2017).
 6. Конвенция по охране и использованию трансграничных водотоков и международных озер. ЕЭК ООН. Нью-Йорк-Женева. 1994. 47 с.
 7. Нормативы качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативы предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения. Утв. приказом Росрыболовства от 18.01.2010 № 20. Режим доступа: <http://www.consultant.ru> (дата обращения: 14.10.2015).
 8. *Беляев С.Д. и др.* Установление приоритетов водоохранной деятельности в бассейне реки на основе целевых показателей качества воды (на примере бассейна реки Оби) // Водное хозяйство России. 2013. № 2. С. 6–25.
 9. *Веницианов Е.В., Лепихин А.П.* Физико-химические основы моделирования миграции и трансформации тяжелых металлов в природных водах / Науч. ред.: В.А. Черешнев, А.М. Черняев, А.Н. Попов. Екатеринбург: Изд-во РосНИИВХ, 2002. 236 с.
 10. *Папина Т.С.* Транспорт и особенности распределения тяжелых металлов в речных экосистемах. Аналитический обзор. Новосибирск: Изд. ГПНТБ СО РАН, 2001. 58 с.
 11. *Беляев С. Д., Могиленских А. К., Одинцева Г. Я.* Целевые показатели качества воды Камского бассейна // Водное хозяйство России. 2009. № 5. С. 35–48.
 12. *Савичев О.Г.* Гидрохимический сток рек бассейна Средней Оби и его природно-антропогенная трансформация: автореф. дис. ... д-ра геогр. наук. Барнаул. 2005. 46 с.
 13. Современное состояние водных ресурсов и функционирование водохозяйственного комплекса бассейна Оби и Иртыша / под ред. Ю.И. Винокурова, А.В. Пузанова, Д.М. Безматерных. Новосибирск: СО РАН, 2012. 236 с.
 14. Национальный атлас России: в 4 т.. Т. 2. Природа. Экология. М.: Роскартография, 2007. 495 с.

Сведения об авторе:

Беляев Сергей Дагобертович, зав. отделом научно-методического обеспечения водохозяйственных расчетов, ФГБУ «Российский НИИ комплексного использования и охраны водных ресурсов», Россия, 620049, г. Екатеринбург, ул. Мира, 23; e-mail: Belyaev@wrm.ru