УДК 628.1:504.455 DOI: 10.24411/1728-323X-2019-11126

ПРИРОДНО-ОРИЕНТИРОВАННЫЙ ПОДХОД К РАЗВИТИЮ СИСТЕМ ВОДОСНАБЖЕНИЯ ИЗ ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОД БАССЕЙНА ОЗЕРА ПЛЕЩЕЕВО

Г. А. Фоменко, *доктор географических наук, профессор, АНО Научно-исследовательский проектный институт «Кадастр», Ярославский государственный технический университет, info@nipik.ru, Ярославль, Россия,*
А. И. Ахременко, *кандидат технических наук, доцент, Ярославский государственный технический университет, akhremenkoai@yandex.ru, Ярославль, Россия,*
К. А. Лошадкин, *кандидат географических наук, доцент, АНО Научно-исследовательский проектный институт «Кадастр», Ярославский государственный технический университет, info@nipik.ru Ярославль, Россия,*
Д. А. Травина, *Ярославский государственный технический университет, Ярославль, Россия*

Использован подход, основанный на природно-ориентированных решениях (Nature-based solutions — NbS) в управлении водными ресурсами. На примере бассейна Плещеева озера показано, что в сочетании с методами «выгоды — издержки» (cost-benefit analysis — CBA) и используя матрицу воздействия (Rapid Impact Assessment Matrix (RIAM) становится возможным существенно снизить затраты на анализ возможных вариантов развития систем водоснабжения с позиций устойчивого развития и сократить сроки непосредственных оценочных работ. Продемострированы возможности применения синтеза принципов экспертного и экономического анализа при реализации концепции природно-ориентированных решений в управлении водопользованием. На практике это позволяет обеспечить поиск и предварительный выбор эффективных природно-ориентированных решений в управлении водопользованием как в малобюджетных, так и в высокозатратных проектах.

The article describes the use of the Nature-based solutions approach (NbS) for water management. The case study of the Pleshcheyevo Lake basin shows that the integration of the cost-benefit analysis and the Rapid Impact Assessment Matrix (RIAM) makes it possible to significantly reduce the cost of analyzing options for the water supply systems development towards sustainability and reduce the assessment time. The article shows the potential for the use of the synthesis of expert and economic analyses principles while implementing the concept of nature-based solutions in water management. In practice, it allows supporting search and preliminary selection of effective nature-based solutions in water management both in low-budget and high-cost projects.

Ключевые слова: управление водными ресурсами, устойчивое развитие, водопользование, водозабор, Rapid Impact Assessment Matrix.

Keywords: water management, sustainable development, water use, water intake, Rapid Impact Assessment Matrix.

Актуальность. Питьевая вода представляет собой наиболее дефицитный ресурс XXI века. Согласно докладу ООН о мировом развитии водных ресурсов пятая часть населения мира живет в районах, уже характеризующихся нехваткой воды. При этом около 3,6 млрд человек (почти половина мирового населения) живут в районах, которые потенциально могут быть дефицитными по воде, по крайней мере, один месяц в году, и к 2050 г. эта численность населения может увеличиться до примерно 4,8—5,7 млрд человек. Глобальный спрос на воду в течение последних десятилетий увеличивался примерно на 1 % в год в зависимости от роста населения, экономического развития и изменения структуры потребления, среди прочих факторов, и он будет продолжать значительно расти в обозримом будущем; ожидается, что к 2050 г. спрос на воду увеличится почти на треть [1].

Деградация экосистем является одной из основных причин нарастания проблем устойчивого управления водными ресурсами. Природные и антропогенные процессы на территориях влияют на качество воды и ее движение в экосистемах и могут оказывать существенное влияние на гидрологические процессы в целом. При этом решения о землепользовании в одном месте могут иметь значительные последствия для водных ресурсов, людей, экономики и окружающей среды в других местах, что указывает на необходимость учета границ водосборов как базового фактора при принятии решений по управлению территориями.

Современные тенденции свидетельствуют о том, что с начала XX века около двух третей лесов и водно-болотных угодий в мире были утрачены или деградировали. Это создает более широкие проблемы повышения рисков наводнений и штормов, что, в свою очередь, влияет на возможность адаптации населения к климатическим изменениям. Все эти изменения оказали серьезное негативное воздействие на гидрологию от местного до регионального и глобального масштабов.

Как следствие, нехватка воды может привести к гражданским волнениям, массовой миграции и даже к конфликтам внутри и между странами.

Обеспечение доступности услуг водоснабжения и санитарии декларировано как одна из целей устойчивого развития в соответствии с решением Генеральной Ассамблеи ООН [2], актуальность реализации которой в Российской Федерации отражена в Указе Президента Российской Федерации от 7 мая 2018 года № 204 «О национальных целях и стратегических задачах развития Российской Федерации на период до 2024 года».

Чтобы избежать возрастающего потребления и нарастания деградации окружающей среды, а также адаптироваться к многогранным последствиям изменения климата, возникла потребность в природно-ориентированном подходе к управлению водоснабжением из поверхностных вод, который ориентирован на оптимизацию выбора между конкурирующими сценариями использования ограниченных ресурсов пресной воды.

Обзор международного опыта. В последние десятилетия вопросам устойчивого управления водопользованием уделяется повышенное внимание, что нашло отражение в значительном количестве публикаций на эту тему как в России, так и за рубежом [3—6]. Обзор выполненных исследований показывает, что наиболее перспективным в обеспечении устойчивого водопользования может быть назван подход, основанный на природно-ориентированных решениях (Nature-based solutions — NbS) в управлении водными ресурсами, поскольку они порождают социальные, экономические и экологические совместные выгоды, в том числе в области здоровья человека и средств к существованию, продовольственной и энергетической безопасности, устойчивого экономического роста, достойных рабочих мест, восстановления экосистем и технического обслуживания и биоразнообразия [1].

Подход NbS основан на том, что решение проблем устойчивого водопользования осуществляется за счет использования в этих целях естественных циклов экосистем, путем их восстановления и сохранения, при минимальном традиционном техногенном вмешательстве (например, восстановление экосистем бассейна реки для обеспечения возможностей поверхностного водозабора, вместо строительства водозабора из подземных горизонтов).

Такие решения могут быть связаны с сохранением или восстановлением природных экосистем и/или усилением или восстановлением экосистемных процессов на нарушенных ландшафтах, в совокупности представляющих собой «зеленую» инфраструктуру. «Зеленая» инфраструктура — это природные или культивируемые экосистемы, использование которых в управлении водопользованием придает принимаемым решениям уровень эффективности, эквивалентный эффективности решения этих же задач на основе обычной «серой» (антропогенной) водной инфраструктуры (очистные сооружения, дамбы и т.п.).

По мнению большинства экспертов, природно-ориентированные решения экономически более эффективны, чем традиционные подходы [7]. Однако применяемые в плановой и проектной деятельности методы оценки эффективности подтверждают это преимущественно в отношении локальных инженерных решений. Выполняемые же оценки экономической эффективности масштабных природно-ориентированных проектов, особенно связанные со строительством сложных объектов и требующие значительных инвестиций, не однозначны. В основе этого так называемые «провалы рынка» относительно экономической ценности многих экосистемных услуг [8], а также трудность идентификации и стоимостной оценки масштабных социальных и экологических последствий проектных решений для сохранения экосистемных услуг в длительной перспективе. Примеров этому множество: от трагедии орошаемых земель Древней Месопотамии (засоление почв) до потери заливных лугов в результате строительства комплекса равнинных водохранилищ на Волге.

Комплексный подход к экономической оценке эффективности вариантов развития систем водоснабжения сегодня наиболее полно реализован в методологии анализа затрат и выгод (cost-benefit analysis — CBA). Такой подход представляет собой модель рационального выбора, при котором, независимо от сложностей оценки и анализа стоимостных показателей прибылей и убытков, лицо, принимающее решения, должно идентифицировать бенефициаров и проигравших и сравнить их взаимосвязи как в пространственных, так и во временных масштабах для различных вариантов решений в сфере управления водными ресурсами. В рамках CBA любое плановое или проектное решение следует рассматривать как один из множества вариантов. Следовательно, определение альтернатив для достижения выбранной цели является фундаментальной предпосылкой этого метода. На основе результатов их оценки определяется оптимальный масштаб управленческих решений и максимизируются чистые выгоды [7].

Сбор и включение необходимой информации в процессы оценки воздействий на экосистемы и принятие природно-ориентированных решений регламентируется такими рамочными нормативными документами, как программа Всемирного

Банка в области охраны окружающей среды[1], Директива 2001/42/ЕС «Об оценке воздействия на окружающую среду определенных планов и программ» и др. Наш опыт реализации положений этих документов при разработке программ и планов природопользования показывает, что для практической реализации природно-ориентированных решений на основе СВА требуется, как правило, специфичная комплексная информация в сфере использования экосистем конкретных территорий, получение которой затруднено по временным (срок реализации проекта) или стоимостным (высокие дополнительные затраты, изначально не предусмотренные в проекте) причинам. Кроме того, значимым условием, наряду с информацией об экосистемных услугах и их взаимодействии, могут быть знания традиционных или местных сообществ о специфических особенностях функционирования и эксплуатации водных и прибрежных экосистем и взаимодействии их между собой и местными сообществами. Поэтому в условиях методологической сложности, трудоемкости и дороговизны анализа конкретных ситуаций для выполнения СВА, сбора и обобщения исходных данных, одним из направлений информационного обеспечения анализа природо-ориентированных решений, в частности в сфере управления водопользованием, является применение экспертных оценок. Безусловно, такие оценки менее точны, однако в фазе прединвестиционных исследований они могут предоставить полезную информацию для обеспечения развития всего инвестиционного цикла в соответствии с принципами природно-ориентированных решений.

Метод и цель исследования. В настоящей статье изложен опыт обоснования выбора источника для водоснабжения населения г. Переславля-Залесского (Ярославская область) с использованием матрицы быстрой оценки воздействия (Rapid Impact Assessment Matrix — RIAM)[2]. Метод RIAM в настоящее время успешно применяется в различных регионах мира. Например, в рамках немецкого проекта «Extended Berlin Geothermal Field Project» по увеличению производства электроэнергии за счет использования геотермальных источников[3], а также в целом ряде других исследований [9, 10]. Применение RIAM в совокупности с методологией СВА позволяет укрупненно оценить эколого-социально-экономическую эффективность выбора природно-ориентированных решений (NbS) по сохранению экосистем Плещеева озера и повышению качества водоснабжения населения города.

Озеро Плещеево — одно из самых красивых озер Ярославской области и средней полосы России. Оно располагается у оконечности Клинско-Дмитровской гряды, в 140 км от Москвы, и представляет собой уникальное проточное озеро и место обитания ценных видов рыб, прежде всего, ряпушки европейской. Площадь зеркала озера при среднемноголетнем уровне 137,3 м составляет 50,8 км^2, а глубина до 25 м, объем воды — 582,24 млн м^3, удельный водосбор — 7,92, площадь водосбора — 436 км^2. В озеро впадает 19 речек и ручьев; самый крупный приток — река Трубеж, берущая начало в Берендеевском водораздельном болоте в междуречье Оки и Волги. Длина реки — 32 км. Вытекает из Плещеева озера одна река — Вексa. Большую роль в питании озера играют подземные воды, открывающиеся на дне его ключами [11]. Еще в 30-х годах прошлого века озеро Плещеево по качеству воды, грунтов и составу организмов можно было сравнивать с альпийскими озерами Западной Европы, а сейчас это обычный равнинный водоем, каких много в бассейне Волги.

В непосредственной близости от Плещеева озера расположены транспортные и сельскохозяйственные объекты. Прямо на берегу стоит г. Переславль-Залесский, водоснабжение которого осуществляется из озера. Это приводит к тому, что состояние озера постоянно ухудшается: снижаются уровень воды и проточность озера, падает качество воды, подаваемой населению. К экологическим проблемам озера относятся: зарастание водоема, снижение чистоты воды, уменьшение и измельчение рыбных стад, накопление в котловине озера органических илов и др. [12]. Водозабор из озера Плещеева для обеспечения жителей города питьевой водой был введен в эксплуатацию в 1988 г. и планировался как временное сооружение на три-четыре года с суточным забором воды до 10 тысяч кубометров воды, функционирует до сих пор.

За период с 1987 по 1996 г. был проведен целый ряд исследований влияния забора воды для г. Переславля-Залесского из Плещеева озера на состояние его экосистем и биоразнообразия. По результатам последних исследований состояния озера Институтом биологии внутренних вод Российской Академии Наук (ИБВВ РАН) сделан вывод о целесообразности поиска альтернативных

[1] http://web.worldbank.org/WBSITE/EXTERNAL/EXTOED/EXTSAFANDSUS/0,,contentMDK:22710879~menuPK:6120538~pagePK:64829573~piPK:64829550~theSitePK:6120524~isCURL:Y,00.html

[2] https://www.researchgate.net/file.PostFileLoader.html?id=582d37f23d7f4b451e76b877&assetKey=AS%3A429274609000448 %401479358450170

[3] http://www.jardhitafelag.is/media/PDF/S12Paper113.pdf

источников водоснабжения города. Это мнение основано на многолетних исследованиях озера и обоснованных прогнозах динамики его состояния в случае игнорирования решения проблемы [13]. В 1996 году ИБВВ РАН на основании дополнительных исследований на оз. Плещеево было выявлено, что: «Сложившаяся ситуация с открытым водозабором пока не привела к необратимым последствиям. Причиной тому являются объективные процессы, связанные с ухудшением экономического положения в регионе — свертывание производства, как промышленного, так и с/х. Эвтрофирование озера замедлилось. Но это не может продолжаться вечно. Экосистема озера находится в неустойчивом состоянии». «Принимая во внимание, что основным источником водоснабжения г. Переславля остается озеро Плещеево, администрации города целесообразно продолжать поиски альтернативных источников водоснабжения». В качестве первостепенных задач на 1997 год отмечается необходимость изучения водно-балансовых характеристик озера, являющихся основой для прогнозирования, и кроме этого, целый ряд других задач. Этой работой занимался национальный парк «Плещеево озеро» совместно с Переславским участком ГМГС «Центргеология» почти 3 года (со второй половины 1997 года). Главный вывод исследования — происходит постепенное снижение проточности озера [14].

По оценке специалистов национального парка «Плещеево озеро», после 2010 года в результате деятельности человека ускорились темпы загрязнения и атрофирования озера, а это значит, что следующей стадией будет заболачивание водоема[4]. Причинами нарастания указанных процессов являются: забор воды из реки Трубеж и притоков, строительство гидротехнических сооружений (например, плотины на реках Ветлянка, Кипе в центре дачного массива в Коровино), снижение количества поступающей воды в устье реки Трубеж из-за нарушенной мелиоративной системы Берендеева болота и др.

Основной целью настоящего исследования являлась апробация природно-ориентированного подхода (NbS) к анализу альтернативных возможностей водоснабжения г. Переславля-Залесского с точки зрения обеспечения качественного водоснабжения города при условии восстановления и сохранения экосистем бассейна озера Плещеево.

Содержание исследования. В качестве альтернативных источников водоснабжения г. Переславля-Залесского были рассмотрены и проанализированы подземные воды, водозабор из реки Нерль Клязьминская и водозабор из реки Вексы.

Подземный водозабор

В 1986 году в соответствии с Постановлением Совета Министров РСФСР от 10.12.1985 № 551 и Решением ЦК КПСС от 30.06.1986 № 13 институту «Союзводоканалпроект» было поручено провести изыскания месторождения подземных вод с забором воды 48 тыс. м^3/сутки, не имеющее связи с оз. Плещеево, и осуществить начало строительства в 1990 г. Такое месторождение было найдено в районе р. Нерль Клязьминская.

Однако водозабор не был пущен в эксплуатацию по ряду причин, в том числе следующих: «формирование эксплуатационных запасов подземных вод месторождения 48 тыс. м^3/сутки происходит в основном за счет сокращения (перехвата) подземного стока р. Нилка, р. Тошма, р. Нерль. В целом ущерб речному стоку р. Нерль в расчетном гидрологическом створе д. Охотино составляет 44 тыс. м^3/сутки. Понижения уровня грунтовых вод на линии водозабора составят 7—8 м» [15].

Особенностью структуры залегания подземных вод является то, что водоупорные свойства грунтов не обеспечивают защиту вод четвертичных отложений от загрязнений с поверхности. Процент неудовлетворительных проб воды подземных водоисточников по санитарно-химическим показателям составляет в районе — 95,83 % [16]. Практически 46 % подземных источников имеют повышенное содержание природного железа и, соответственно, цветности и мутности.

Подземные воды Переславского района в соответствии с классификацией по ГОСТ 2764—84 по показателям качества (мутность, содержание железа, иногда — марганца и других веществ) относятся ко 2 классу источников централизованного хозяйственно-питьевого водоснабжения, т.е. пригодны для использования после водоподготовки.

Подземные источники водоснабжения не соответствуют по содержанию вредных химических веществ (содержание железа) требованиям СанПиН 2.1.4.1074—01 «Питьевая вода».

По данным протоколов лабораторных исследований за 2008 год [16] питьевая вода, поступающая от артезианских скважин в сети центрального водопровода:

— с. Нагорье содержит 1,07 ± 0,27 мг/дм^3 общего железа, что превышает норматив в 3,6 раза;

— д. Горки — 2,49 ± 0,45 мг/дм^3 общего железа, что превышает норматив в 8,3 раза;

[4] http://duma.yar.ru/12052014plozero.html

— с. Купанское — 0,42 ± 0,11 мг/дм^3, что превышает норматив в 1,4 раза;

— с. Берендеево — 1,39 ± 0,35 мг/дм^3, что превышает норматив в 4,6 раза.

Норматив по СанПиНу 2.1.4.1074—01 «Питьевая вода» — не более 0,3 мг/дм^3.

За 1998—2001 гг. по данным национального парка «Плещеево озеро» максимальное количество воды, поступающей в озеро с р. Трубеж, было в апреле 2000 г. — 12 м^3/с (паводок). Минимально — подпор с июня по октябрь включительно в 2001 г. летом и осенью цифры от 0,5 до 1,5—2,5, иногда 3 м^3/с.

С Вексой максимальное количество воды вытекало в апреле 2001 г. —5,82 м^3/сек. В летние месяцы от 0,8 до 3 м^3/с, т.е. цифры, сопоставимые с поступлением воды с р. Трубеж. Сумма проточности с остальными малыми реками значительной бывает только в паводок. Все остальные месяцы она от 2 до 10 тыс. м^3/сут., иногда 13—14 тыс. м^3/сут. В то время как забор воды из озера 20—22 тыс. м^3/сут. Иными словами, если не брать в расчет другие составляющие водного баланса, то поверхностный водозабор города Переславля-Залесского существует за счет притоков малых рек (за исключением р. Трубеж) и подземного притока. И если за счет забора подземных вод подземный приток уменьшится, то мы просто начнем выкачивать воду из Плещеева озера. Следовательно, вариант использования подземных вод для обеспечения водой г. Переславль-Залесский не решает существующих проблем.

Водозабор из р. Нерль Клязьминская

Другим возможным источником водоснабжения является река Нерль Клязьминская. Хотя из нее обеспечивается водой г. Владимир, но проектная мощность расположенной на ней водозаборной станции — 113 тыс. м^3/сут. — используется не полностью 62,5 тыс. м^3/сут. (по данным на 2012 г.) и позволяет обеспечивать водой г. Переславль-Залесский в необходимом объеме 35,4 тыс. м^3/сут. Фактическое удельное потребление воды населением г. Владимира на 1 чел. в сутки (в среднем с учетом всех степеней благоустройства) составило: 2002 г. — 247,3 л; 2012 г. — 165,4 л; 2015 г. — 150 л. (см. рис. 1), а значит, имеет тенденцию к снижению. Вода поверхностного водозабора р. Нерль проходит водоподготовку на Нерлинской очистной водопроводной станции.

В связи с изменением климатических условий (ливневыми дождями весной, летом, осенью) и размывом болот, откуда берет свое начало река Нерль, качество воды в реке подвержено усилившимся сезонным колебаниям: цветность поднимается от 18 до 149°, окисляемость от 3,5 до 26 мг/л, мутность от 1,2 до 28 мг/л. Своеобразный болотистый характер питания формирует воды р. Нерль как маломутные и высокоцветные. Общая минерализация в среднем 270 мг/л.

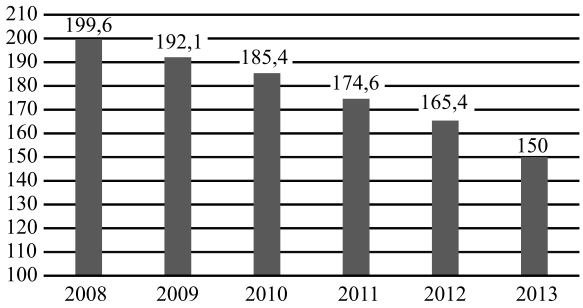

Рис. 1. Удельное водопотребление в литрах на 1 чел. в сутки
Источник: [17]

Качество воды р. Нерль определяют следующие группы загрязнений: биогенные элементы; органические вещества; азот аммонийный; азот нитратов; металлы: железо, медь, марганец. Источниками загрязнения р. Нерль являются сельскохозяйственные предприятия, неканализованные населенные пункты и неудовлетворительная работа очистных сооружений канализации населенных пунктов. Для весеннего паводкового периода на р. Нерль характерны следующие изменения показателей речной воды: сначала происходит плавное снижение pH, щелочности и жесткости с одновременным ростом мутности, окисляемости и цветности; затем показатель мутности прекращает расти и происходит ее снижение, остальные показатели также изменяются. Ввиду снижения мутности во время паводка обработка речной воды значительно осложняется и осуществляется более высокими дозами реагентов, чем на первом этапе разлива реки.

По данным последних лет химической лаборатории предприятия «Владимирводоканал», динамика изменения мутности и цветности природной воды имеет ярко выраженную зависимость от природных явлений и деятельности человека [17]. Поскольку забор воды из реки Нерль за последние годы существенно снизился, эта река может рассматриваться как потенциальный источник водоснабжения г. Переславль-Залесский.

Водозабор из р. Вексы

Среднегодовой сток р. Вексы равен при $Q_{95\,\%}$ = = 1,34 м^3/с; $Q_{5\,\%}$ = 3,65 м^3/с; $Q_{50\,\%}$ = 2,3 м^3/с. Максимальное его значение — в весеннее половодье при $Q_{5\,\%}$ = 36,5 м^3/с; $Q_{50\,\%}$ = 12,9 м^3/с; $Q_{95\,\%}$ = 5,7 м^3/с [18].

Сравним указанные значения с результатами замеров национального парка «Плещеево озеро».

Самое большое значение было в апреле 2001 г. — 503,38 тыс. $м^3$/сутки, или 5,8 $м^3$/с, в 2000 г. — всего 2,14 $м^3$/с [19]. Средние расходы по данным мониторинга парка составили за 2000 г. около 1,09 $м^3$/с, что ниже указанных значений [18]. Данные национального парка «Плещеево озеро» за 1998—2001 гг. близки к данным 1991 г.: «Объем стока р. Трубеж и р. Векса в 3-й декаде августа $2{,}134 \cdot 10^6$ $м^3$ и $2{,}013 \cdot 10^6$ $м^3$ при средних расходах составил 2,47 и 2,33 $м^3$/с соответственно. В 1 декаде сентября средние расходы Трубежа и Вексы 3,47 и 2,08 $м^3$/с соответственно» [19].

Выполненный анализ многолетней динамики стока показывает, что при наблюдаемом уменьшении прихода и расхода проточность уменьшилась и ее возможно увеличить. Это подтверждают результаты исследований Д. А. Шатилло по гидрологии озера Плещеево [20], который рассматривая сложившуюся ситуацию отмечает, что «проточность озера может быть улучшена путем очистки русел рек, впадающих в озеро, от наносов, завалов и водной растительности», а «обводнение озера возможно путем увеличения водосборной площади р. Трубеж и создания комплекса водоохранно-защитных лесов».

По нашему мнению, перемещение водозабора из акватории озера Плещеева в русло р. Векса позволит увеличить как количество поступающей в озеро воды из Трубежа и подземных источников, так и его проточность, так как вода из самого озера и его притоков изыматься не будет, а понижение уровня воды в р. Векса при водозаборе увеличит уклон водной поверхности на линии Трубеж-Векса, а значит, и скорости течения. Это должно положительно отразиться на экологическом состоянии озера.

Альтернативное сравнение вариантов

Вариант использования подземных вод не рассматривается как альтернативный способ водоснабжения, поскольку ухудшает питание самого озера, что противоречит принципам природно-ориентированного подхода.

В ходе оценки альтернативных вариантов расположения водозабора на реке Нерль Клязьминская и расположения водозабора на реке Векса определялись позитивные и негативные последствия их реализации по следующим трем направлениям:

— экологические последствия — изменения природной среды, связанные с ее загрязнением, истощением природных ресурсов (лесных, водных и др.), сокращением биоразнообразия, потерей уникальных природных объектов и комплексов, деградацией ландшафтов и др.;

— социальные последствия — изменения в социальной сфере, связанные с занятостью местного населения, благосостоянием местных жителей, развитием социальных конфликтов;

— экономические последствия — изменения в экономике домашних хозяйств, бизнеса и всей территории муниципального образования (изменение доходов местного населения, бизнес-структур, местного бюджета, состояние торговли, уровень развития сферы услуг).

Критерии, по которым в рамках матрицы выполняется оценка последствий реализации альтернативных вариантов, разбиты на две группы:

1) критерии группы А (А1 и А2) — отражают значимость последствий для территорий разных уровней, характер изменений (позитивный или негативный) и, тем самым, оказывают существенное влияние на итоговый результат оценки;

2) критерии группы В (В1, В2 и В3) — оценивают перспективную ситуацию и индивидуально не могут влиять на итоговый результат.

Таблица 1

Критерии оценки последствий реализации различных вариантов. Шкала оценок

Критерии оценки	Шкала оценок	Описание
1	2	3
А1: Важность состояния	4	Важно для национального/ международного уровня
	3	Важно для регионального/ национального уровня
	2	Важно за пределами локальной территории
	1	Важно только для локальной территории
	0	Не важно
А2: Характер изменений	+3	Значительные позитивные изменения
	+2	Существенное улучшение существующего положения
	+1	Улучшение существующего положения
	0	Нет изменения существующего положения
	−1	Ухудшение существующего положения
	−2	Существенное ухудшение существующего положения
	−3	Значительные негативные изменения
В1: Стабильность	1	Нет изменений (не применим)
	2	Временные
	3	Постоянные
В2: Обратимость	1	Нет изменений (не применим)
	2	Обратимые
	3	Необратимые
В3: Кумулятивность	1	Нет изменений (не применим)
	2	Единичные
	3	Общие

Итоговая оценка рассчитывалась с использованием ряда формул:

$A1 \cdot A2 = AT;$

$B1 + B2 + B3 = BT;$

$AT \cdot BT = ES.$

ES — итоговая оценка последствий реализации альтернативных вариантов водоснабжения.

Оценка осуществлялась по критериям обеих групп; шкала оценок по каждому критерию и их описание приведены в таблице 1.

Результаты экспертной оценки альтернативных вариантов расположения водозабора на реке Нерль Клязьминская и реке Векса по трем группам критериев представлены в таблицах 2 и 3.

Результаты экспертной оценки вариантов расположения водозаборов характеризуются следу-

Таблица 2

Результаты экспертной оценки варианта расположения водозабора на р. Нерль Клязьминская

Последствия реализации направлений политики	Оценка последствий по критериям					Итоговая оценка
	A1	A2	B1	B2	B3	
Экологические последствия						
Загрязнение окружающей среды (в том числе за счет образования отходов)	1	−1	2	2	2	−6
Истощение лесных ресурсов (древесных и недревесных)	1	−1	2	2	2	−6
Истощение водных ресурсов (количественное и качественное)	2	−1	3	2	2	−14
Потеря биоразнообразия	1	−1	2	2	2	−6
Потеря уникальных природных объектов и комплексов	0	0	1	1	1	0
Изменение ландшафтов	1	−1	2	2	2	−6
Социальные последствия						
Занятость местного населения	1	1	2	2	2	6
Благосостояние местного населения	3	2	3	2	3	48
Развитие конфликтов	2	−1	2	2	2	−12
Экономические последствия						
Изменение доходов местного населения	1	1	2	2	2	6
Изменение доходов бизнес-структур	1	1	2	2	2	6
Изменение доходов местного бюджета	2	1	1	1	1	6
Активизация торговли	0	0	1	1	1	0
Развитие сферы услуг	0	0	1	1	1	0
ИТОГО:						**22**

Таблица 3

Результаты экспертной оценки варианта расположения водозабора на р. Векса

Последствия реализации направлений политики	Оценка последствий по критериям					Итоговая оценка
	A1	A2	B1	B2	B3	
Экологические последствия						
Загрязнение окружающей среды (в том числе за счет образования отходов)	1	−1	2	2	2	−6
Истощение лесных ресурсов (древесных и недревесных)	1	−1	2	2	2	−6
Истощение водных ресурсов (количественное и качественное)	2	−1	3	2	2	−14
Потеря биоразнообразия	1	−1	2	2	2	−6
Потеря уникальных природных объектов и комплексов	0	0	1	1	1	0
Изменение ландшафтов	1	−1	2	2	2	−6
Социальные последствия						
Занятость местного населения	1	1	2	2	2	6
Благосостояние местного населения	3	2	3	2	3	48
Развитие конфликтов	1	−1	1	1	1	−3
Экономические последствия						
Изменение доходов местного населения	1	1	2	2	2	6
Изменение доходов бизнес-структур	1	1	2	2	2	6
Изменение доходов местного бюджета	1	1	1	1	1	3
Активизация торговли	0	0	1	1	1	0
Развитие сферы услуг	0	0	1	1	1	0
ИТОГО:						**28**

ющим образом: итоговая оценка варианта расположения водозабора на р. Нерль Клязьминская составила +22 балла, что можно трактовать как средние позитивные изменения; итоговая оценка варианта расположения водозабора на р. Векса равна +28 баллам, что также соответствует средним позитивным изменениям, но с более высоким конечным результатом.

Таким образом, наиболее предпочтительным является вариант размещения водозабора на р. Векса, который позволяет получить наибольшие социально-экономические показатели при несущественном вмешательстве в окружающую среду.

Результаты и обсуждение

Как показали исследования, методология, основанная на природно-ориентированных решениях (Nature-based solutions — NbS) к управлению водоснабжением из поверхностных вод, достаточно эффективна и может широко использоваться в плановой и проектной деятельности для оптимизации выбора между конкурирующими сценариями использования ограниченных ресурсов пресной воды. Подход NbS в сочетании с методами «выгоды — издержки» (cost-benefit analysis — CBA) и матрицы быстрой оценки воздействия (Rapid Impact Assessment Matrix — RIAM) позволяет повысить качество анализа вариантов развития систем водоснабжения с позиций устойчивого развития и сократить сроки непосредственных оценочных работ.

Поскольку метод CBA трудоемок и дорог в исполнении, хотя и обеспечивает наиболее высокую точность оценки эффективности проектов и планов с точки зрения устойчивости использования экосистем, целесообразно шире использовать методы экспертной оценки для предварительного сопоставления альтернативных вариантов развития систем водоснабжения. На практике это дает возможность уже на предпроектной стадии обеспечить поиск и выбор эффективных природно-ориентированных решений в управлении водопользованием как в малобюджетных, так и в высокозатратных проектах, существенно экономя время и средства.

Сравнительный анализ различных вариантов размещения водозабора для водоснабжения г. Переславль-Залесский на основе результатов оценки RIAM показал, что наиболее предпочтительным является вариант размещения водозабора на р. Векса, поскольку позволяет получить наибольшие социально-экономические показатели при несущественном вмешательстве в окружающую среду. Однако для принятия окончательного решения требуется проведение всего комплекса процедур CBA для сопоставления параметров экономической эффективности альтернативных вариантов размещения водозабора.

Библиографический список

1. The United Nations World Water Development Report 2018: Nature-Based Solutions for Water / United Nations World Water Assessment Programme/UN-Water. — Paris: UNESCO, 2018. — 139 p.
2. Резолюция Генеральной ассамблеи ООН 70/1 «Преобразование нашего мира: Повестка дня в области устойчивого развития на период до 2030 года».
3. Авакян А. Б., Лебедева И. П. Водохранилища XX века как глобальное географическое явление // Известия РАН. Серия географическая. — 2002. — № 3. — С. 13—20.
4. Корытный Л. М. Бассейновая концепция в природопользовании / Отв. ред. В. А. Снытко. — Иркутск: Изд-во Ин-та географии СО РАН, 2001. — 161 с.
5. Davies J., Barchiesi S., Ogali C. J., Welling R., Dalton J., Laban P. Water in drylands: Adapting to scarcity through integrated management. — Gland, Switzerland: IUCN, 2016. — 44 p.
6. Gleick P. H. Global Freshwater Resources: Soft-Path Solutions for the 21st Century // Science. — 2003. — № 302. — P. 1524—1528.
7. Cost-Benefit Analysis and the Environment: Further Developments and Policy Use / OECD. — Paris: OECD Publishing, 2018.
8. Фоменко Г. А. Управление природоохранной деятельностью: основы социокультурной методологии. — М.: Наука, 2004. — 390 с.
9. Kankam-Yeboah K., Asare E. B. Rapid Impact Assessment Matrix (RIAM) — An Analytical Tool in the Prioritization of Water Resources Management Problems in Ghana // Journal of Faculty of Environmental Science and Technology. — 2005. — Vol. 10, № 1. — P. 75—81.
10. Okeola O. G., Khadijat Abdulkareem A. R. Prioritization of Water Resources Management Problems in North Central Nigeria Using Rapid Impact Assessment Matrix (RIAM) // Journal of Water Resource and Protection. — 2016. Vol. 8, № 3. — P. 345—357.
11. Экосистема оз. Плещеево. — Л.: Наука, 1989.
12. Антропогенное искажение геохимического стока в бассейне озера Плещеево. — Ярославль, 1991.
13. Протокол № 10365 заседания государственной комиссии по запасам полезных ископаемых при Совете министров СССР от 26.02.1988.
14. Отчет «Биоиндикация качества воды озера Плещеево в условиях действующего открытого водозабора». (Этап 1996 года). — Борок, 1997.
15. ТЭР «Артезианский водозабор Нерльского участка ПО «Славич» и г. Переславля-Залесского». Кн. 1. — М., 1989.

16. Схема территориального планирования Переславского муниципального района Ярославской области / ООО «Проектный институт «Спецстройпроект». — 2011.
17. Схема водоснабжения и водоотведения муниципального образования города Владимир на 2014—2024 годы / МУП «Владимирводоканал». — 2013.
18. Технико-экономическое обоснование гидрологического состояния озера Плещеево в Переславском районе Ярославской области / Ярославский государственный проектно-изыскательский институт (Ярославльгиироводхоз). — Ярославль, 1995.
19. Щербань С. И. Гидрология озера Плещеево: доклад на Научно-техническом Совете Национального парка «Плещеево озеро» от 11.12.2001.
20. Шатилло Д. А. Гидрология озера Плещеево: справка. — Росгипролес, 2000.

NATURE-BASED SOLUTIONS APPROACH TO THE DEVELOPMENT OF WATER SUPPLY SYSTEM FROM SURFACE WATERS OF PLESHCHEYEVO LAKE BASIN

G. A. Fomenko, Ph. D. (Geography), Dr. Habil., Professor, Cadaster Institute, Yaroslavl State Technical University, info@nipik.ru,
A. I. Akhremenko, Ph. D. (Technical Sciences), Associate Professor, Yaroslavl State Technical University, akhremenkoai@yandex.ru,
K. A. Loshadkin, Ph. D. (Geography), Associate Professor, Cadaster Institute, Yaroslavl State Technical University, info@nipik.ru,
D. A. Travina, Yaroslavl State Technical University

References

1. The United Nations World Water Development Report 2018: Nature-Based Solutions for Water. United Nations World Water Assessment Programme. UN-Water. Paris: UNESCO, 2018. 139 p.
2. Resolution of the General Assembly of the United Nations 70/1. *Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development*
3. Avakyan A. B., Lebedeva I. P. Vodohranilisha XX veka kak globalnoe geograficheskoe yavlenie. *Izvestiya RAN. Seriya geograficheskaya*. [Reservoirs of the twentieth century as a global geographical phenomenon. *Bulletin of the Russian Academy of Sciences. Geographical series.*]. 2002. No. 3. P. 13—20. [in Russian]
4. Korytny L. M. Bassejnovaya koncepciya v prirodopolzovanii. [Basin concept in environmental management.]. Ed. V. A. Snytko. Irkutsk, Publishing House of Institute of Geography SB RAS, 2001. 161 p. [in Russian]
5. Davies J., Barchiesi S., Ogali C. J., Welling R., Dalton J., Laban P. Water in drylands: Adapting to scarcity through integrated management. Gland, Switzerland: IUCN, 2016. 44 p.
6. Gleick P. H. Global Freshwater Resources: Soft-Path Solutions for the 21st Century. *Science*. 2003. No. 302. P. 1524—1528.
7. Cost-Benefit Analysis and the Environment: Further Developments and Policy Use. OECD. Paris: OECD Publishing, 2018.
8. Fomenko G. A. Upravlenie prirodoohrannoj deyatelnostyu: Osnovy sociokulturnoj metodologii. [Environmental management: Basics of sociocultural methodology.]. Moscow, Nauka, 2004. 390 p. [in Russian]
9. Kankam-Yeboah K., Asare E. B. Rapid Impact Assessment Matrix (RIAM). An Analytical Tool in the Prioritization of Water Resources Management Problems in Ghana. *Journal of Faculty of Environmental Science and Technology*. 2005. Vol. 10, No. 1. P. 75—81.
10. Okeola O. G., Khadijat Abdulkareem A. R. Prioritization of Water Resources Management Problems in North Central Nigeria Using Rapid Impact Assessment Matrix (RIAM). *Journal of Water Resource and Protection*. 2016. Vol. 8. No. 3. P. 345—357.
11. Ekosistema oz. Plesheevo. [The ecosystem of Pleshcheyevo Lake.]. Leningrad, Nauka. 1989. [in Russian]
12. *Antropogennoe iskazhenie geohimicheskogo stoka v bassejne ozera Pleshcheyevo*. [Anthropogenic distortion of geochemical flow in the basin of Lake Pleshcheyevo.]. Yaroslavl, 1991. [in Russian]
13. Protokol № 10365 zasedaniya gosudarstvennoj komissii po zapasam poleznyh iskopaemyh pri Sovete ministrov SSSR ot 26.02.1988 [Protocol No. 10365 of the meeting on mineral reserves of the state commission at the Council of Ministers of the USSR of 02.26.1988]
14. Otchet "Bioindikaciya kachestva vody ozera Plesheevo v usloviyah dejstvuyushego otkrytogo vodozabora". (Etap 1996 goda). [The report "Bioindication of the water quality of Lake Plescheevo in the current open water intake". (Stage of 1996).]. Borok, 1997. [in Russian]
15. TER "Artezianskij vodozabor Nerlskogo uchastka PO "Slavich" i g.Pereslavlya-Zalesskogo" ["Artesian water intake of the Nerl site of the PO "Slavich" and the town of Pereslavl-Zalessky".]. Vol. 1. Moscow, 1989. [in Russian]
16. Shema territorialnogo planirovaniya Pereslavskogo municipalnogo rajona Yaroslavskoj oblasti. [Territorial planning scheme of the Pereslavsky Municipal District of the Yaroslavl Region.]. Project Design Institute Spetsstroyproekt. 2011. [in Russian]
17. Shema vodosnabzheniya i vodootvedeniya municipalnogo obrazovaniya gorod Vladimir na 2014—2024 gody. [Water supply and wastewater disposal scheme of the municipal entity Vladimir City for 2014—2024.]. MUP "Vladimirvodokanal". 2013. [in Russian]
18. Tehniko-ekonomicheskoe obosnovanie gidrologicheskogo sostoyaniya ozera Plesheevo v Pereslavskom rajone Yaroslavskoj oblasti. [Feasibility study of the hydrological state of Plescheevo Lake in the Pereslavl district of the Yaroslavl Region.]. Yaroslavl State Design and Research Institute (Yaroslavlgiprovodkhoz). Yaroslavl, 1995. [in Russian]
19. Scherban S. I. Gidrologiya ozera Plesheevo: doklad na Nauchno-tehnicheskom Sovete Nacionalnogo parka "Plesheevo ozero" ot 11.12.2001. [Hydrology of Lake Plescheevo: a report on the Scientific and Technical Council of the National Park "Plescheevo Lake" of 11.12.2001]. [in Russian]
20. Shatillo D. A. Gidrologiya ozera Plesheevo: spravka. [Hydrology of Lake Plescheevo: reference.]. Rosgiproles, 2000. [in Russian]