

МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ К ОЦЕНКЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ ПРИРОДНЫХ И АНТРОПОГЕННЫХ ФАКТОРОВ НА РЕЧНЫЕ ГЕОСИСТЕМЫ

Волкова Н. Е., Подовалова С. В., Умерова Л. Р.

METHODOLOGICAL APPROACHES FOR ASSESSING THE IMPACT OF NATURAL AND ANTHROPOGENIC FACTORS ON RIVER GEOSYSTEMS

Volkova N. E., Podovalova S. V., Umerova L. R.

Аннотация

Введение. Усиление дефицита водных ресурсов в Республике Крым вследствие перекрытия внешнего водосточника подчеркнуло необходимость рационально использовать имеющийся водоресурсный потенциал, что в свою очередь требует достижения баланса между интересами водопользователей и поддержанием благоприятной экологической обстановки на водотоках полуострова. В российской и мировой практике существует целый ряд подходов к оценке влияния антропогенных и природных факторов на состояние речных геосистем, однако не все они могут быть применимы для решения обозначенной задачи. **Методы.** Выбор наиболее приемлемого подхода, использование которого позволит разрабатывать целесообразные управленческие решения в водохозяйственной сфере, был осуществлен на основе апробации комплексных методик, методов и моделей оценки влияния человеческой деятельности на устойчивость речных природно-технических систем на примере р. Зуя. **Результаты.** Сравнение возможностей применения балльно-индексного метода оценки устойчивости и уязвимости водотоков к изменению физико-географических, гидрологических параметров, качества воды, методики комплексной оценки геоэкологического состояния водных ресурсов малых рек и системной модели «Бассейн малой реки» показало, что использование последней позволит не просто оценить фактическую обстановку, но и выделить причины, препятствующие рациональному использованию водотоков полуострова. **Заключение.** Использование правильно подобранного методологического подхода оценки влияния антропогенных и природных факторов на устойчивость речных геосистем позволит при разработке управленческих решений в водохозяйственной сфере Республики Крым избежать ошибок при выборе мероприятий и расстановке приоритетов действий, направленных на достижение рационального применения имеющегося водоресурсного потенциала.

Ключевые слова: водоток, антропогенная нагрузка, экологическая обстановка, комплексная оценка, рациональное водопользование.

Abstract

Introduction. The increasing shortage of water resources in the Republic of Crimea, due to water supplies from the external water source being shut off, emphasized the need to rationally use the existing water resource potential, which in turn requires a balance between the water users' interests and maintaining a favorable environmental situation in the peninsula's watercourses. Although in Russian and global practice there is a whole range of approaches to assessing the impact of natural and anthropogenic factors on the state of river geosystems, not all of them are applicable to solving the indicated problem. **Methods.** By testing integrated techniques, methods and models for assessing the impact of human activity on the stability of river natural and engineering systems (using the Zuya River as an example), we selected the most appropriate approach to develop viable solutions in water management. **Results.** By comparing the possibilities of using the scoring index method to assess the stability and vulnerability of watercourses to changes in physical and geographical as well as hydrological parameters and water quality, and methodology for the integrated assessment of the geoecological state of water resources of small rivers and the system model "Minor River Basin", we revealed that only with the use of the latter it is possible not only to assess the real situation but also identify the reasons that impede the rational use of the peninsula's watercourses. **Conclusion.** When developing decisions related to water management in the Republic of Crimea, the use of a suitable methodological approach to assessing the impact of natural and anthropogenic factors on the stability of river geosystems will make it possible to avoid mistakes when choosing measures and prioritizing actions aimed at the rational use of the existing water resource potential.

Keywords: watercourse, anthropogenic load, ecological situation, integrated assessment, rational water use.

Введение

После перекрытия внешнего водоисточника в Республике Крым возросла нагрузка, оказываемая на ряд водотоков, что в свою очередь привело к ухудшению экологической ситуации на данных объектах [7, 8, 17]. Следует отметить, что в обеспечении устойчивого социально-экономического развития региона ведущая роль принадлежит водному фактору, включающему не только количественную, но и качественную составляющую водоресурсного потенциала крымских рек. Таким образом, в настоящее время перед руководящими структурами региона стоит задача разрабатывать целесообразные управленческие решения, направленные на регулирование оказываемого на водотоки полуострова антропогенного воздействия. Первым шагом в ее решении является комплексная оценка фактической обстановки, сложившейся в бассейнах рек. В зарубежной и мировой практике имеется ряд методов, методик и моделей, которые позволяют одновременно оценивать воздействие природных и антропогенных факторов на состояние компонентов речных геосистем, включая безопасность воды для водопользователей. К ним относятся: методика оценки антропогенной преобразованности ландшафтов, разработанная Шищенко П. Г. [19]; метод балльной оценки геоэкологической ситуации, предложенный Карпенко Н. П. [9]; метод оценки устойчивости водных ресурсов Bo L., Ganlu W., Hanghang D., Yulong C. [21]; балльно-индексный метод оценки устойчивости и уязвимости водотоков к изменению физико-географических, гидрологических параметров, качества воды Дмитриева В. В. [4]; методика комплексной оценки геоэкологического состояния водных ресурсов малых рек Тимченко З. В. [15]; системная модель «Бассейн малой реки» Яцька А. В. [20] и др.

Вышеперечисленные подходы создавались для решения различных задач, начиная от оценки устойчивости водотока к определенному виду антропогенного воздействия и заканчивая учетом целого комплекса факторов, влияющих на экологическую обстановку на объекте и безопасность воды для водопользователей. Некоторые из них изначально разрабатывались для определенного сочетания условий. Наиболее наглядным примером является метод оценки устойчивости водных

ресурсов Китая, разработанный Bo L., Ganlu W., Hanghang D., Yulong C., основанный на расчете интегрального показателя. Он заключается в выполнении качественной и количественной оценки устойчивости по четырем группам, включающим 18 критериев, отражающих: формирование водных ресурсов (среднегодовое количество осадков, среднегодовое испарение, модуль стока, индекс засухи); их использование (коэффициенты использования водных ресурсов и сложности освоения водоресурсного потенциала, расход воды на душу населения, доли промышленной и сельскохозяйственной воды); экологическое состояние окружающей среды (уровни достижения нормативов качества воды и каменистого опустынивания, коэффициент развития карста, толщина вскрышных пород, растительный покров); социально-экономические показатели (естественный прирост населения, расход воды на единицу валового продукта, уровень зарегулированности водных ресурсов, средняя продолжительность жизни) [21]. Следует отметить, что для территории Китая характерно развитие процессов опустынивания. Именно это повлияло на выбор таких критериев, как уровень каменистого опустынивания, коэффициент развития карста, толщина вскрышных пород. Это, с одной стороны, делает применение данного метода малоприменимым для территорий (в том числе и для Республики Крым), не подверженных процессу каменистого опустынивания, а с другой — для Китая позволяет более точно оценить фактическую обстановку и негативное проявление факторов, затрагивающих как природную среду, так и интересы общества и государства.

Исходя из вышеизложенного была сформулирована цель данного исследования — на основе анализа достоинств и недостатков комплексных методологических подходов к оценке устойчивости речных геосистем обосновать выбор наиболее подходящего для разработки рациональных управленческих решений, направленных на достижение баланса между потребностями водопользователей и поддержанием благоприятной экологической обстановки на данных водных объектах.

Методы и материалы

В основу исследования заложено сравнение перспективности применения для оценки факти-

ческой ситуации и выделения причин, вызывающих ухудшение экологической обстановки на водотоках Республики Крым, трех наиболее комплексных подходов: балльно-индексного метода оценки устойчивости и уязвимости водотоков к изменению физико-географических, гидрологических параметров, качества воды; методики комплексной оценки геоэкологического состояния водных ресурсов малых рек; системной модели «Бассейн малой реки».

В качестве водного объекта, на примере которого производилась оценка устойчивости речной геосистемы к влиянию природных и антропогенных воздействий, был выбран бассейн р. Зуя. Это обосновано рядом факторов, часть из которых была выявлена при проведении полевых исследований, проведенных в 2017–2019 гг.:

- данный водоток является типичным для Республики Крым: для него характерно смешанное питание с преобладанием дождевого; основной сток формируется с ноября по апрель, в летний период русло в нижнем течении пересыхает; водность незначительна, норма годового стока составляет 0,51 м³/с; для данного водохозяйственного объекта характерен высокий уровень антропогенной нагрузки и преобразованности ландшафта (урбанизация около 10 %, сельскохозяйственная освоенность более 68 %);

- по данной реке в необходимом объеме имеется информация, отражающая качественные и количественные характеристики водных ресурсов и их использование на различные цели.

В основу расчетов заложены: информация из формы 2-ТП (Водхоз) (табл. 1); справочные данные [11]; результаты мониторинговых наблюдений за качественными (табл. 2) и количественными характеристиками стока за 2019 год; сведения

о видах землепользования, полученные с помощью визуального дешифрирования спутниковых данных с использованием программного обеспечения QGIS 2.18 и применения программного модуля QuickMapServices для подключения спутниковой карты Yandex Satellite, инструментов оцифровки и модуля вычисления площадей (табл. 3).

Результаты исследования и обсуждение

Балльно-индексный метод оценки устойчивости и уязвимости водотоков к изменению физико-географических, гидрологических параметров, качества воды, разработанный Дмитриевым В. В., включает оценку по пяти группам признаков:

- физико-географическим, учитывающим географическую зону расположения, сезон года, период воздействия факторов;
- характеру маловодной фазы, а именно продолжительность низкого стока и его характер, периоды ледостава и отсутствия стока;
- гидрологическому режиму, учитывающему скорость течения, температуру воды, колебания уровней;
- размеру и водности, а именно площадь водосбора, расход воды;
- загрязнению водного объекта по химическим параметрам (рН, растворенный кислород, БПК₅, окисляемость, аммоний солевой, токсические вещества) в долях ПДК [4].

Использование данного метода позволяет учитывать региональные особенности водных объектов и дает возможность в пределах изменений заложенных в расчет параметров провести сравнительную оценку уязвимости водных объектов к воздействию естественного и антропогенного режимов, оценить тенденцию изменения устойчивости за выбранный период времени [5, 14].

При проведении оценки величины индексов и разряды определялись исходя из градаций, описанных Дмитриевым В. В. в диссертационной работе «Эколого-географическая оценка состояния внутренних водоемов» [4]. Полученные результаты определения уязвимости р. Зуя представлены в табл. 4.

Из анализа табл. 4 видно, что в целом состояние р. Зуя характеризуется как максимально уязвимое. Следует отметить, что в данном методе воздействие антропогенных факторов учитывается косвенно, то есть принимаются во внимание ко-

Таблица 1

Общие показатели забора и сброса водных ресурсов в бассейне р. Зуя за 2017–2019 гг.

Показатель	Объем воды, млн. м ³		
	2017 г.	2018 г.	2019 г.
Забор, воды всего	1,46	2,20	1,69
из поверхностных водисточников	1,27	1,90	0,91
из подземных водозаборов	0,19	0,30	0,78
Сброшено сточных вод, всего	0,12	0,12	0,09
в том числе загрязненных	0,12	0,12	0,09

Таблица 2

**Результаты химических анализов проб воды, отобранных из р. Зуя
23.07.2019 г.**

Наименование показателя	Место расположения пункта наблюдения			
	Балановское водохранилище	р. Зуя, с. Вишневое	р. Зуя, пгт Зуя	р. Зуя, с. Украинка
Минерализация, мг/дм ³	315,00	450,00	540,00	630,00
pH	8,00	7,52	7,63	8,00
Анионы, мг/дм ³ :				
HCO ₃ ⁻	103,70	317,00	311,00	268,00
Cl ⁻	8,52	32,00	30,00	60,40
SO ₄ ²⁻	160,00	108,00	187,00	255,00
PO ₄ ³⁻	0,12	2,94	1,65	2,14
NO ₃ ⁻	0,90	2,80	2,70	1,70
Катионы, мг/дм ³ :				
Ca ²⁺	58,00	102,00	106,00	110,00
Mg ²⁺	23,52	16,80	19,20	21,60
K ⁺	4,35	6,60	7,50	6,60
Na ⁺	8,90	30,10	34,50	42,50
NH ⁴⁺	0,00	0,15	1,19	0,15
Тяжелые металлы, мг/дм ³ :				
свинец	0,000	0,000	0,231	0,000
медь	0,000	0,000	0,000	0,001
кадмий	0,000	0,003	0,000	0,000
цинк	0,000	0,000	0,000	0,000

Таблица 3

Информация по использованию земельных ресурсов бассейна р. Зуя

Наименование показателя	Значение, га
Лесистость	8756,0
Степень естественного состояния	11 429,2
Сельхозосвоенность	29 283,1
Распаханность	29 283,1
Урбанизация	4578,9

нечные качественные и количественные характеристики стока, оценочные значения которых обусловлены в том числе деятельностью человека.

В целом идея, заложенная в данном подходе и позволяющая определить устойчивость водотока к усилению антропогенной нагрузки, мало подходит для разработки комплексных управленческих решений по достижению баланса между интересами водопользователей и поддержанием благоприятной экологической обстановки. Это обусловлено прежде всего тем, что не рассматриваются возможные причины, которые могут привести к ухудшению экологической обстанов-

ки на водном объекте, а без этого проблематично снизить или исключить негативные последствия их воздействий.

Методика комплексной оценки геоэкологического состояния водных ресурсов малых рек, разработанная Тимченко З. В., базируется на системном подходе с учетом основных положений гидрологии, экологии и ландшафтоведения. При ее разработке автором были применены принципы квалиметрии, состоящие в формировании единого показателя качества на основе единичных качественных характеристик стока, использования земельных ресурсов водосборной территории. При этом Тимченко З. В. рассматривала малые реки как геосистемы, на которых вследствие развития антропогенной деятельности возможно нарушение способности к самовосстановлению [13, 15, 16]. Суть методики заключается в оценке трех основных показателей: экологической устойчивости, экологической надежности, относительной антропогенной нагрузки. В основу расчета первых двух заложено соотношение содержания загрязняющих веществ в воде

Таблица 4

Результаты комплексной оценки по балльно-индексному методу оценки устойчивости и уязвимости водотоков к изменению физико-географических, гидрологических параметров, качества воды р. Зуя

Показатель	Рассматриваемый участок			
	Верховье	Середина течения	Устьевая зона (где был зафиксирован сток)	Вся река
Сумма индексов/разряд согласно классификации водотока: по физико-географическим признакам	3/1	3/1	7/2	7/2
по характеру маловодной фазы	2/1	2/1	5/1	5/1
по гидрологическому режиму	7/2	7/2	7/2	7/2
по размеру и водности	8/6	8/6	8/6	7/6
Сумма разрядов	10	10	11	11
Балл уязвимости	16	16	26	26
Класс	II	II	III	III
Подкласс	Б	Б	А	А
Балл качества воды	5	5	3	5
Итоговая сумма баллов	21	21	29	31
Комбинация семейств и родов	ПБ2	ПБ2	ША2	ША2
Класс устойчивости	II	II	III	III
Характеристика устойчивости водотока	Средняя уязвимость	Средняя уязвимость	Максимальная уязвимость	Максимальная уязвимость

к их предельно допустимым концентрациям, то есть качественные показатели стока, а третий основан на учете основных антропогенных факторов, таких как удельная площадь водосбора, занятая сельскохозяйственными предприятиями и урбанизированными территориями, объем сбрасываемых сточных вод [15]. Применение данной методики позволяет комплексно оценить обстановку в бассейне водотока, включая безопасность воды для коммунально-бытового, хозяйственно-питьевого и рыбохозяйственного использования, и частично установить причины ухудшения экологической обстановки на данных водохозяйственных объектах [1, 2].

При проведении оценки геоэкологического состояния р. Зуя определение комплексного показателя для объектов рыбохозяйственного назначения (КПЭС_{р-х}) осуществлялось по формуле (1), а для коммунально-бытового и хозяйственно-питьевого водопользования (КПЭС_{х-п}) — по формуле (2):

$$\text{КПЭС}_{\text{р-х}} = 1 - \sum \frac{P_i}{H_{\text{р-х}i}}, \quad (1)$$

где $H_{\text{р-х}i}$ — предельно допустимая концентрация загрязняющего вещества в воде в соответствии с [12];

P_i — фактическая концентрация загрязняющего вещества в воде;

$$\text{КПЭС}_{\text{х-п}} = \frac{1}{n} \sum \text{ПЭС}_{\text{х-п}i}, \quad (2)$$

где n — количество значений ПЭС_{*i*} по различным параметрам;

ПЭС_{*х-п*} i — показатель экологического состояния, который рассчитывался по формуле

$$\text{ПЭС}_{\text{х-п}i} = a_i \frac{H_{\text{х-п}i} - P_i}{H_{\text{х-п}i}}, \quad (3)$$

где $H_{\text{х-п}i}$ — предельно допустимая концентрация загрязняющего вещества в воде, выбирается в соответствии с [3];

a_i — коэффициент весомости i -го параметра (соответствует классу опасности вещества).

Экологическая надежность рассчитывалась по формуле

$$\text{ЭН} = 1 - \frac{\chi^2}{(2N - M + 0,5\chi^2)}, \quad (4)$$

где N — общее число значений КПЭС_{ср};

M — число значений КПЭС_{ср}, меньших критического, нулевого значения;

χ^2 — значение функции «хи-квадрат» при доверительной вероятности 0,9, которое выбира-

ется в соответствии с градацией, приведенной в [15], в зависимости от величины $2M+2$.

Расчет относительной антропогенной нагрузки (ОАН) осуществлялся по формуле

$$OAN = f_{cx} + f_{yp} + \omega_{к.ф}, \quad (5)$$

где f_{cx} — удельная площадь, занятая сельхозпредприятиями;

f_{yp} — удельная площадь под урбанизированными территориями;

$\omega_{к.ф}$ — удельный объем промышленных и бытовых сточных вод.

Идентификация уровня относительной антропогенной нагрузки осуществлялась в соответствии с классификацией, приведенной в [15].

Итоговые результаты проведенных расчетов представлены в табл. 5.

Из анализа табл. 5 наглядно видно, что по результатам комплексной оценки по методике, разработанной Тимченко З. В., геоэкологическое состояние р. Зуя характеризуется как неустойчивое. Это связано не только с качественными характеристиками стока, но и с использованием земельных ресурсов на водосборной территории водотока.

Методика комплексной оценки геоэкологического состояния водных ресурсов малых рек, разработанная Тимченко З. В., позволяет провести комплексную оценку фактической обстановки на водном объекте, частично выделить факторы, по которым необходимо предусмотреть действия, направленные на снижение уровня антропогенной нагрузки. Однако ее использование для разработки управленческих решений, направленных на достижение баланса между интересами водопользователей и поддержанием благоприятной экологической обстановки, сдерживается двумя основными причинами:

- не учтены объемы отбора воды из водотока;
- не оговаривается количество показателей, отражающих химический состав водных ресурсов и необходимых для включения в расчет. В результате, чем больше параметров задается, независимо от того, превышают ли они граничные допустимые значения, тем хуже классифицируется фактическая обстановка, что, несмотря на комплексное сочетание негативного воздействия содержания загрязняющих веществ в воде, не всегда соответствует оказываемому эффекту.

Системная модель «Бассейн малой реки» Яцыка А. В. основана на использовании системного подхода, который позволяет учитывать сложные многоаспектные явления в сфере отношений человека и окружающей природной среды. Данный метод заключается в выполнении качественной и количественной оценки антропогенной нагрузки по четырем подсистемам:

- радиоактивное загрязнение, учитывающее содержание трех радионуклидов: цезия-137, стронция-90, плутония-239 и 240;
- использование земельных ресурсов, охватывающее шесть показателей: лесистость, степень естественного состояния, сельскохозяйственная

Таблица 5

Результаты комплексной оценки геоэкологического состояния водных ресурсов р. Зуя

Показатель	Значение	Классификация состояния
Хозяйственно-питьевое и культурно-бытовое водопользование		
Р. Зуя, Балановское водохранилище		
КПЭС _{ср}	0,589	Устойчивое состояние
КПЭС _{мин}	0,222	
Р. Зуя, пгт Зуя		
КПЭС _{ср}	-11,014	Неустойчивое состояние
КПЭС _{мин}	-22,244	
Р. Зуя, с. Украинка		
КПЭС _{ср}	0,342	Устойчивое состояние
КПЭС _{мин}	0,191	
Обобщенные данные по реке		
Экологическая надежность	0,02	Низкий уровень
ОАН	0,797	Неустойчивое состояние
Рыбохозяйственное водопользование		
Р. Зуя, Балановское водохранилище		
КПЭС _{ср}	0,020	С очагами неустойчивости
КПЭС _{мин}	-1,700	
Р. Зуя, пгт Зуя		
КПЭС _{ср}	-12,470	Неустойчивое состояние
КПЭС _{мин}	-40,372	
Р. Зуя, с. Украинка		
КПЭС _{ср}	-1,760	Неустойчивое состояние
КПЭС _{мин}	-3,441	
Обобщенные данные по реке		
Экологическая надежность	-0,100	Низкий уровень
ОАН	0,797	Неустойчивое состояние

освоенность, распаханность, урбанизованность, эродированность;

- использование речного стока, учитывающее пять характеристик: объем забора воды, объем ущерба речному стоку вследствие отбора подземных вод, фактический объем стока реки, объем сброса сточных вод, включая загрязненные;

- качество вод, включает два блока: химическое и бактериологическое (ведущий фактор — коли-индекс) загрязнения [20].

Данная системная модель не раз использовалась на территории Республики Крым для решения задач, связанных с переходом к рациональному природопользованию [6, 18].

В данной работе в связи с тем, что по ранее проводимым по р. Зуя исследованиям не было зафиксировано содержание в воде таких компонентов, как цезий-137, стронций-90, плутоний-239 и 240 [10], расчеты по подсистеме «радиоактивное загрязнение» не осуществлялись.

Оценка использования земельных ресурсов проводилась по формуле

$$\varphi(L) = \frac{\sum_{k=1}^{n_k} a_k \cdot X_k}{\sum_{k=1}^{n_k} a_k}, \quad (6)$$

где $\varphi(L)$ — линейная средневзвешенная нормированная функция меры;

X_k — логическая функция меры показателей данной подсистемы;

k — количество показателей;

a_k — весовой коэффициент k -го показателя, принимается в соответствии с [20].

Расчет показателя, характеризующего использование речного стока ($\varphi(W)$), осуществлялся по формуле

$$\varphi(W) = \frac{\sum_{k=1}^{n_k} \beta_k \cdot Y_k}{\sum_{k=1}^{n_k} \beta_k}, \quad (7)$$

где β_k — весовой коэффициент k -го показателя, принятый в соответствии с [20];

Y_k — логическая функция меры показателей данной подсистемы.

Оценка по подсистеме «качество вод» производилась по формуле

$$\varphi(Q) = \arg \min \begin{cases} \varphi(K_i) \\ \varphi(P_i) \end{cases}, \quad (8)$$

где $\varphi(Q)$ — линейная средневзвешенная нормированная функция меры по данной подсистеме;

$\varphi(K_i)$ — линейная средневзвешенная нормированная функция меры по блоку «химическое загрязнение»;

$\varphi(P_i)$ — линейная средневзвешенная нормированная функция меры по блоку «бактериологическое загрязнение».

Расчет интегрального показателя — индукционного коэффициента антропогенной нагрузки (ИКАН) осуществлялся по формуле

$$\text{ИКАН} = 0,3 \cdot \varphi(L) + 0,2 \cdot \varphi(W) + 0,5 \cdot \varphi(Q). \quad (9)$$

Результаты проведенных расчетов сведены в табл. 6.

Комплексная оценка состояния р. Зуя на основе системной модели «Бассейн малой реки» (табл. 6) показала, что оно характеризуется как «очень плохое». Основными причинами этого являются значительное изъятие стока (в необходимом объеме не осуществляются экологические попуски), устройство землепользования на водосборной территории.

В целом идея, заложенная в системную модель «Бассейн малой реки» и заключающаяся в том, что оценка производится не только по системе в целом, но и по каждому показателю, отражающему воздействие различных видов антропогенной нагрузки на состояние водотока, дает возможность определить тот вид деятельности, негативное влияние которого является преобладающим, и на основе этого правильно расставить приоритет действий при разработке управленческих решений, направленных на достижение баланса между интересами водопользователей и поддержанием благоприятной экологической обстановки на водных объектах.

В ходе оценки геоэкологического состояния р. Зуя с помощью методологических подходов, разработанных Дмитриевым В. В., Тимченко З. В. и Яцыком А. В., были получены схожие результаты — экологическая обстановка на водотоке классифицируется как неблагоприятная, то есть водный объект не справляется с оказываемым на него уровнем антропогенной нагрузки, что влечет за собой ухудшение качественного состава стока. Это свидетельствует о том, что использованные метод, методика и модель позволяют достоверно оценить фактическую ситуацию. Однако применительно для водотоков Крыма при разработке управленческих решений, направленных на достижение баланса между

Таблица 6
Результаты комплексной оценки состояния р. Зуя на основе использования системной модели «Бассейн малой реки»

Показатель	Значение	Оценка состояния
Использование земельных ресурсов, в том числе:	-3,65	Крайне неудовлетворительное
лесистость	-4,00	Неудовлетворительное
степень естественного состояния	-4,00	Неудовлетворительное
сельхозосвоенность	-4,00	Неудовлетворительное
распаханность	-4,00	Неудовлетворительное
урбанизация	-4,00	Неудовлетворительное
эродированность	0,00	Нормальное
Использование речного стока, в том числе:	-0,20	Плохое
использование речного стока	-5,00	Катастрофическое
безвозвратное водопотребление	-5,00	Катастрофическое
поступление сточных вод	3,00	Хорошее
сброс загрязненных вод	1,00	Удовлетворительное
Качество воды, в том числе:	-4,00	Очень загрязненное
химическое загрязнение	-4,00	Очень загрязненное
бактериологическое загрязнение	0,00	Удовлетворительное
Индукционный коэффициент антропогенной нагрузки	-3,12	Очень плохое

интересами водопользователей и поддержанием благоприятной экологической обстановки, целесообразно использовать подход, предложенный Яцыком А. В. Это обосновано в первую очередь тем, что его применение позволяет не только комплексно оценить фактическую ситуацию, но и выделить основные причины ухудшения состояния речной геосистемы.

Заключение

В ходе проведенного исследования были сделаны следующие выводы:

- перекрытие внешнего водоисточника привело к усилению дефицита водных ресурсов в Республике Крым, и, как следствие, возросла необходимость разработки рациональных управленческих решений, направленных на достиже-

ние баланса между интересами водопользователей и поддержанием благоприятной экологической обстановки на водотоках полуострова;

- в мировой и отечественной практике существует ряд методологических подходов к оценке влияния антропогенных и природных факторов на устойчивость речных геосистем. Выбор наиболее подходящего из них целесообразно осуществлять исходя из задач, в решении которых их планируется задействовать;

- среди рассмотренных комплексных подходов наиболее приемлемой для разработки управленческих решений, направленных на достижение баланса между интересами водопользователей и поддержанием благоприятной экологической обстановки на водотоках полуострова, является системная модель «Бассейн малой реки». Ее использование позволяет не только проанализировать общую ситуацию, включая забор водных ресурсов, но и выделить основные причины, негативное воздействие которых на состояние водотока является преобладающим.

Водотоки Республики Крым в настоящее время являются одним из основных источников воды для населения и отраслей экономики. Правильно организованный на территории этих геосистем процесс природопользования, хоть и не решит водной проблемы региона, будет способствовать более рациональному использованию водоресурсного потенциала полуострова.

Литература

1. Власова, А. Н. (2008). Гидрологическая и гидроэкологическая характеристика реки Малый Салгир. Ученые записки Таврического национального университета имени В. И. Вернадского. Серия: География, т. 21 (60), № 3, сс. 94–101.
2. Волкова, Н. Е., Иванютин, Н. М. и Подовалова, С. В. (2021). Оценка гидроэкологического состояния водных объектов бассейна реки Малый Салгир. Вестник Московского университета. Серия 5. География, № 3, сс. 27–36.
3. Главный государственный санитарный врач Российской Федерации (2003). Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования: Гигиенические нормативы. ГН 2.1.5.1315–03. М.: Российский регистр потенциально опасных химических и биологических веществ Министерства здравоохранения Российской Федерации, 154 с.
4. Дмитриев, В. В. (2000). Эколого-географическая оценка состояния внутренних водоемов. Диссертация на соискание степени доктора географических наук. СПб.: Санкт-Петербургский государственный университет.

5. Дмитриев, В. В., Бурцев, С. Н., Мандрыкова, О. Н., Ефимова, А. Ю., Кузьменко, Г. Ю., Лаптев, А. С., Нестерова, Н. В., Соловьев, В. А., Тимченко, Д. С. и Шадрина, А. А. (2016). Оценка экологического состояния малых озер Карельского Приладожья. *Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований*, № 8-4, сс. 647–655.
6. Дунаева, Е. А. и Коваленко, П. И. (2013). Типизация бассейнов рек Крыма по агроландшафтам и экологической нагрузке на них. *Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации*, № 4 (12), сс. 157–167.
7. Иванютин, Н. М. и Подвалова, С. В. (2019). Оценка современного экологического состояния реки Биюк-Карасу. *Вода и экология: проблемы и решения*, № 1 (77), сс. 54–63. DOI: 10.23968/2305-3488.2019.24.1.54-63.
8. Иванютин, Н. М., Подвалова, С. В. и Волкова, Н. Е. (2020). Изучение пространственно-временной трансформации качественного состава вод реки Салгир. *Экология и промышленность России*, т. 24, № 3, сс. 65–71. DOI: 10.18412/1816-0395-2020-3-65-71.
9. Карпенко, Н. П. (2018). Оценка геоэкологической ситуации речных бассейнов на основе атрибутивных показателей и обобщенных геоэкологических рисков. *Природообустройство*, № 2, сс. 15–22. DOI: 10.26897/1997-6011/2018-2-15-22.
10. Крымгипроводхоз (1992). *Паспорт реки Зуя*. Симферополь: Крымгипроводхоз, 102 с.
11. Лисовский, А. А., Новик, В. А., Тимченко, З. В. и Губская, У. А. (2011). Поверхностные водные объекты Крыма. Управление и использование водных ресурсов: справочник. Симферополь: КРП Учпедгиз, 242 с.
12. Министерство сельского хозяйства Российской Федерации (2016). Приказ № 552 от 13.12.2016 «Об утверждении нормативов качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативов предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения». М.: Министерство сельского хозяйства Российской Федерации, 153 с.
13. Позаченюк, Е. А. и Тимченко, З. В. (2017). Современные ландшафты бассейна р. Ускут. *Экономика строительства и природопользования*, № 2 (63), сс. 39–49.
14. Примак, Е. А. (2009). Интегральная оценка устойчивости районов Ладожского озера к изменению параметров естественного и антропогенного режимов. *Вестник Санкт-Петербургского университета. Серия 7. Геология. География*, № 3, сс. 151–159.
15. Тимченко, З. В. (2002). Водные ресурсы и экологическое состояние малых рек Крыма. Симферополь: Доля, 152 с.
16. Тимченко, З. В. (2017). Гидрографические и гидрологические характеристики реки Джарджавы. *Строительство и техногенная безопасность*, № 8 (60), сс. 133–139.
17. Тимченко, З. В. (2018). Анализ современного состояния реки Победная (главного коллектора № 5). *Строительство и техногенная безопасность*, № 11 (63), сс. 213–219.
18. Умерова, Л. Р. и Дунаева, Е. А. (2020). Оценка состояния бассейна реки Салгир с использованием цифровых технологий. В: *Национальная научная конференция «Лесная мелиорация и эколого-гидрологические проблемы Донского водосборного бассейна»*. Волгоград: Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук, сс. 458–462.
19. Шищенко, П. Г. (1988). *Прикладная физическая география*. Киев: Выща школа, 192 с.
20. Яцык, А. В. (1997). *Экологические основы рационального водопользования*. Киев: Генеза, 640 с.
21. Li, B., Wang, G., Ding, H. and Chen, Y. (2017). An evaluation method of the sustainability of water resource in karst region: a case study of Zunyi, China. *Applied Water Science*, Vol. 7, Issue 3, pp. 1391–1397. DOI: 10.1007/s13201-015-0362-3.

References

1. Vlasova, A. N. (2008). Hydrological and hydroecological characteristic of Malyi Salgir river. *Scientific Notes of Taurida National V.I. Vernadsky University. Series: Geography*, Vol. 21 (60), No. 3, pp. 94–101.
2. Volkova, N. E., Ivanyutin, N. M. and Podvalova, S. V. (2021). Assessment of the hydroecological state of water bodies in the Maly Salgir river basin. *Vestnik Moskovskogo Universiteta, Seriya 5, Geografiya*, No. 3, pp. 27–36.
3. Chief Public Health Officer of the Russian Federation (2003). *Maximum allowable concentrations (MAC) of chemical substances in the water of water bodies for household, drinking and amenity water use: Hygienic Standards. GN 2.1.5.1315-03*. Moscow: Russian Register of Potentially Hazardous Chemical and Biological Substances of the Ministry of Health of the Russian Federation, 154 p.
4. Dmitriev, V. V. (2000). *Ecological and geographical assessment of inland water bodies*. DSc Thesis in Geography. Saint Petersburg: Saint Petersburg State University.
5. Dmitriev, V. V., Burtsev, S. N., Mandryka, O. N., Efimova, A. Y., Kuzmenko, G. Y., Laptev, A. S., Nesterova, N. V., Solovev, V. A., Timchenko, D. S. and Shadrina, A. A. (2016). Environmental assessment of the state of small lakes Karelian Ladoga. *International Journal of Applied and Fundamental Research*, No. 8-4, pp. 647–655.
6. Dunaeva, Ye. A. and Kovalenko, P. I. (2013). River basins typification of Crimea by agrolandscapes and ecological load. *Scientific Journal of Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems*, No. 4 (12), pp. 157–167.
7. Ivanyutin, N. M. and Podvalova, S. V. (2019). Assessment of the Biyuk-Karasu river current ecological state. *Water and Ecology*, No. 1 (77), pp. 54–63. DOI: 10.23968/2305-3488.2019.24.1.54-63.
8. Ivanyutin, N. M., Podvalova, S. V. and Volkova, N. E. (2020). Research of spatial-temporal transformation of the qualitative composition of the river Salgir waters. *Ecology and Industry of Russia*, Vol. 24, No. 3, pp. 65–71. DOI: 10.18412/1816-0395-2020-3-65-71.
9. Karpenko, N. P. (2018). Assessment of the geoecological situation of river basins based on attribute indices and generalized geoecological risks. *Environmental Engineering*, No. 2, pp. 15–22. DOI: 10.26897/1997-6011/2018-2-15-22.
10. Krymgiprovodkhoz (1992). *Passport of the Zuya River*. Simferopol: Krymgiprovodkhoz, 102 p.
11. Lisovsky, A. A., Novik, V. A., Timchenko, Z. V. and Gubskaya, U. A. (2011). *Surface water bodies of Crimea. Water management and use: a handbook*. Simferopol: Crimean Republican Enterprise “State Educational Publishing House” (KRP Uchpedgiz), 242 p.
12. Ministry of Agriculture of the Russian Federation (2016). *Order No. 552 dd. December 13, 2016 “Concerning approval of water quality standards for fishery water bodies, including maximum allowable concentrations of hazardous substances in waters of fishery water bodies”*. Moscow: Ministry of Agriculture of the Russian Federation, 153 p.

13. Pozachenyuk, E. A. and Timchenko, Z. V. (2017). The modern landscapes of the river catchment Uskut. *Construction Economic and Environmental Management*, No. 2 (63), pp. 39–49.

14. Primak E. A. (2009). Integral estimation of stability to changes in natural and anthropogenic regime of Lake Ladoga. *Vestnik of Saint Petersburg University. Series 7. Geology. Geography*, No. 3, pp. 151–159.

15. Timchenko, Z. V. (2002). *Water resources and ecological state of minor rivers in Crimea*. Simferopol: Dolya, 152 p.

16. Tymchenko, Z. V. (2017). Hydrographic and hydrological characteristics of the River Jarjawi. *Construction and Industrial Safety*, No. 8 (60), pp. 133–139.

17. Tymchenko, Z. V. (2018). Analysis of the current state of the Pobednaya River (the general collector № 5). *Construction and Industrial Safety*, No. 11 (63), pp. 213–219.

18. Umerova, L. R. and Dunayeva, E. A. (2020). Assessment of the state of the Salgir River basin using digital technologies. In: *National Scientific Conference “Forest Reclamation and Environmental-and-Hydrological Issues of the Don Catchment Area”*. Volgograd: Federal Scientific Center for Agroecology, Integrated Reclamation and Protective Forestry of the Russian Academy of Sciences, pp. 458–462.

19. Shishchenko, P. G. (1988). *Applied Physical Geography*. Kiev: Vyshcha Shkola, 192 p.

20. Yatsyk, A. V. (1997). *Environmental fundamentals of water management*. Kiev: Geneza Publishing House, 640 p.

21. Li, B., Wang, G., Ding, H. and Chen, Y. (2017). An evaluation method of the sustainability of water resource in karst region: a case study of Zunyi, China. *Applied Water Science*, Vol. 7, Issue 3, pp. 1391–1397. DOI: 10.1007/s13201-015-0362-3.

Авторы

Волкова Наталья Евгеньевна

ФГБУН «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма», г. Симферополь, Россия
E-mail: volkova_n@niishk.ru

Подвалова Светлана Владимировна

ФГБУН «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма», г. Симферополь, Россия
E-mail: podovalovas@list.ru

Умерова Лейля Рустемовна

ФГБУН «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма», г. Симферополь, Россия
E-mail: leylya-umerova@mail.ru

Authors

Natalya Yevgenyevna Volkova

Research Institute of Agriculture of Crimea, Simferopol, Russia
E-mail: volkova_n@niishk.ru

Svetlana Vladimirovna Podovalova

Research Institute of Agriculture of Crimea, Simferopol, Russia
E-mail: podovalovas@list.ru

Leylya Rustemovna Umerova

Research Institute of Agriculture of Crimea, Simferopol, Russia
E-mail: leylya-umerova@mail.ru