

Д.Н. Шайкина\*, Е.В. Галактионова, А.С. Маратова, Г.С. Тлеубергенова,  
С.М. Базарбаева, В.Ю. Панченко, К.С. Жадан

*Северо-Казахстанский университет имени М. Козыбаева, Петропавловск, Казахстан*

*\*Автор для корреспонденции: [shajkina86@mail.ru](mailto:shajkina86@mail.ru)*

## **Эколого-статистическое прогнозирование качества воды реки Есиль в Северо-Казахстанской области**

В статье представлены различные подходы для оценки качества водных ресурсов реки Есиль на территории Северо-Казахстанской области с использованием результатов экологического мониторинга. Дана краткая характеристика реки, являющейся трансграничной артерией для региона. Приведена динамика комплексного индекса загрязненности воды (КИЗВ) за исследуемый период. Выполнен сравнительный анализ величин КИЗВ, показывающий его снижение за период 2014–2018 гг. Качество воды реки Есиль характеризовалось как умеренного уровня загрязнения. Авторами также приведены основные положения действующего в Казахстане с 2019 года нового нормативного документа «Единая система классификации качества воды в водных объектах», и представлена оценка качества исследуемого объекта в соответствии с его требованиями. Применяя существующие эколого-статистические методы моделирования, был выполнен прогноз развития значений КИЗВ реки Есиль в Северо-Казахстанской области в среднесрочном периоде. Прогноз был основан на построении тренда линейной функции. Адекватность использования подобных расчетов для построения графического изображения была подтверждена определением коэффициентов, которые оптимально оценивают прогнозную модель. Полученные результаты не показывают увеличения параметров КИЗВ в ближайшей перспективе, так как между зависимым и независимым компонентами линейной функции была выявлена обратная связь, характеризующая снижение эндогенного параметра с течением времени. Результаты моделирования объектов экосистемы необходимы для анализа и прогнозирования развития ситуаций, позволяющих не допускать ухудшения качества окружающей среды. Приведенная методика может быть использована при разработке и совершенствовании программ устойчивого развития региона.

*Ключевые слова:* экосистема, качество водных ресурсов, мониторинг, динамика, комплексный индекс загрязнения воды, прогнозирование, тренд.

### *Введение*

В настоящее время ухудшение экологического состояния земной биосферы происходит из-за усиления процессов глобализации, ускоренного развития промышленности и интенсификации сельского хозяйства. Преобладание инновационных энергоемких и ресурсоемких технологий приводит к возникновению техногенных катастроф, которые в значительной степени снижают качество окружающей среды и жизни людей. Экологи утверждают, что во всем мире человеческое общество обеспокоено масштабами загрязнения природных экосистем. В этой связи Г.Ж. Мукашева отмечает: «Рост численности населения земли, повсеместное широкое развитие ирригации и дренажа, а также ускорение темпов индустриализации привели к увеличению использования все большего количества, без того ограниченных пресных водных ресурсов. Продолжается масштабное и неконтролируемое загрязнение рек и других водных объектов Центральной Азии и Казахстана» [1].

В странах Южной Азии и Ближнего Востока также актуальны вопросы загрязнения и контроля водных источников, которые изучаются в их взаимосвязи с геогенными и климатическими переменными. Ученые выявили убедительные доказательства того, что воздействие температуры, осадков и, как следствие, изменение климата влияют на качество воды. В связи с этим ученые всего мира работают над поиском совершенствования приемов планирования и рационального водопользования, которые позволят находить компромиссы между водопотреблением и восстановлением нарушенного баланса, а также будут способствовать осуществлению мероприятий по грамотному использованию водных источников, развитию систем водоснабжения и охране прилегающих к ним территорий. Ведется разработка программ по исследованию состояния водных ресурсов, их сохранению с использованием различных методов оценки и прогнозирования с помощью построения различных многофакторных моделей [2, 3].

Вопросам прогнозирования посвящены экспериментальные исследования в работах Т.И. Моисеенко, которые показывают новые подходы для структурной диагностики «в рамках концепции «здоровья» экосистемы [4]:

1. Обоснование информативных биологических критериев оценки «здоровья» экосистемы, отражающих негативные эффекты загрязнения вод.
2. Сжатие многоплановой гидрохимической информации к единому показателю состояния абиотической среды, адекватно отражающему дозу воздействия.
3. Определение зависимостей показателей «доза – эффект» и на их основе критических уровней загрязнения вод».

Принимая во внимание реальное состояние окружающей среды и ее влияние на экологические системы, авторы предлагают один из способов перспективного контроля качества воды для северного региона Казахстана, основанный на построении прогнозной модели с использованием элементов математической статистики. Основным водным источником Северо-Казахстанской области является река Есиль с притоками (река Акканбурлук и река Иманбурлук), которая относится к типу рек со снеговым питанием и дающим более 80 % стока. Поэтому режим реки проявляется сильно выраженным весенним половодьем. Летне-осенняя межень отличается низким уровнем воды, когда река питается только за счет подземных вод. Есиль имеет повышенный уровень минерализации за счет высокой солености подземных вод, которые питают сам источник и ее притоки. Кроме того, летний довольно засушливый период на территории водного бассейна также способствует увеличению содержания солей. Вода является жесткой, ее кислородный режим удовлетворительный [5].

До 2019 года поверхностные воды реки Есиль в Северо-Казахстанской области измерялись показателями качества, которыми обладает вода по химическому составу с учетом содержания растительного и животного заполнения водоема. Это учитывалось при расчете комплексного индекса загрязненности воды, где применялись критерии оценки согласно нормативной документации, утвержденной в Республике Казахстан. Использование такого суммарного показателя являлось общепринятым, так как давало возможность оценивать прямое воздействие окружающей среды на водные системы.

Ранее в нашем исследовании была представлена динамика величины КИЗВ реки Есиль за предшествующие годы (рис. 1), где выявленная тенденция показала уменьшение этого показателя. Отмечалось, что качество воды за рассматриваемый период характеризовалось как умеренного уровня загрязнения и относилось к 3-му классу [6].

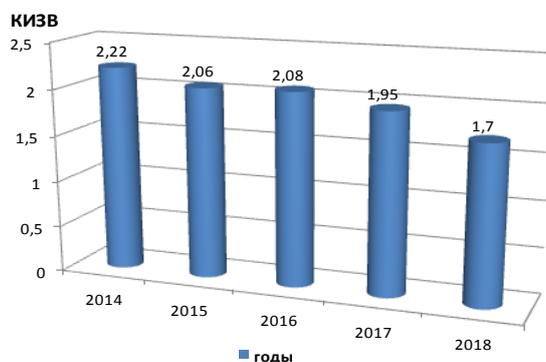


Рисунок 1. Изменение показателей КИЗВ реки Есиль в 2014–2018 гг.

В Казахстане, начиная с 2019 года, был принят к исполнению нормативный документ «Единая система классификации качества воды в водных объектах», согласно которому водным источникам были присвоены определенные категории и регламентированы временные периоды для отбора проб с указанием проверяемых показателей.

Информационный сайт МИА «Казинформ» [7] знакомит с этим документом, в котором отмечено, что: «Единая классификация разработана на основе Европейской водной директивы, где основополагающим является принцип «один не соответствует — все не соответствуют»». Также приводятся основные положения классификации, разделяющие систему контроля всех природных источников на пять классов по категориям водопользования. В соответствии с новой системой классификации мониторинг поверхностных вод сейчас осуществляется по гидроморфологическим и физико-химическим параметрам воды.

Расчеты гидроморфологических зависимостей речных русел для характеристики водных потоков широко освещены в литературе рядом исследователей. В своих работах В.И. Антроповский, G. Wharton, G.P. Williams утверждают, что, определив характерные особенности русла реки и исследовав динамику водотоков, можно успешно планировать водохозяйственную деятельность и проводить природоохранные мероприятия [8–10].

#### Методы и материалы

Все природные системы обладают сложной структурой, в которой происходит взаимодействие и функционирование элементов на микро- и макроуровнях. Эти экосистемы являются многопараметрическими, то есть могут иметь несколько различных исходных характеристик. Одной из них являются водные ресурсы — самый необходимый источник для существования всех живых организмов.

При оценке водных ресурсов качество воды считается удовлетворительным в том случае, когда оно соответствует требованиям сохранения здоровья и жизнедеятельности человека. В нашем исследовании реальное состояние воды в реке Есиль проводилось с использованием КИЗВ в качестве интегрального результата при определении гидрохимических и гидробиологических показателей. В ходе режимного мониторинга суммировались наибольшие концентрации загрязняющих веществ и учитывались два обязательных компонента (БПК<sub>5</sub> и растворенный кислород), которые в комплексе определяли относительную величину КИЗВ.

Основными гидроморфологическими характеристиками речных бассейнов считаются площадь и ширина бассейна, глубина, средний уклон и длина главного водотока, средний уклон выровненного профиля, густота речной сети. Совокупность этих параметров определяет гидроморфологический суммарный индекс, а физико-химические свойства рассчитываются по 42 показателям [11].

В нашей работе выполнено экологическое прогнозирование качества водных ресурсов реки Есиль в среднесрочном периоде с помощью линейного тренда. Показана прямая корреляция показателей качества воды, которая установлена при ее определении разными методиками.

Так как в природе и обществе все окружающие объекты связаны между собой, то эту связь можно установить с помощью математических вычислений и на этой основе проектировать модели экосистем. Любая математическая модель показывает более отвлеченное отображение изучаемого объекта, но в то же время упрощает подходы к изучению и изложению результатов исследования. Для того чтобы выполнить модель прогноза, необходимо с помощью статистических методов выявить функцию, которая оптимально будет описывать исследуемый процесс. В этом случае при изменении отдельных величин проводятся исследования функции с последующим анализом полученных результатов. Определяемые расчетные значения дадут возможность представить вероятностную модель, которая покажет направленность развития прогнозного показателя.

Уравнение, описывающее тренд линейной функции, рассчитывается по формуле (1):

$$y = a + b \cdot x. \quad (1)$$

Величины  $a$  и  $b$  определяют из системы линейных уравнений:

$$\begin{cases} n \cdot a + b \cdot \sum x = \sum y; \\ a \cdot \sum x + b \cdot \sum x^2 = \sum y \cdot x, \end{cases} \quad (2)$$

где  $n$  — число периодов исследования процесса.

Выполнив систематизацию статистически данных, можно получить визуальное изображение в виде графического построения линейного тренда (1) в прямоугольной системе координат.

В качестве доказательства достоверности использования такого подхода к прогнозированию и для подтверждения предполагаемых выводов применяют расчеты коэффициентов автокорреляции ( $r$ ) и средней ошибки аппроксимации (МАРЕ) [12; 168–170].

По формуле (3) рассчитывается коэффициент автокорреляции:

$$r = \frac{\sum l_x \cdot l_{x-1}}{\sum l_x^2}, \quad (3)$$

где  $l_x = y_x - \hat{y}_x$ .

Для обоснования тождественности расчетов величина коэффициента должна иметь значение в определенных пределах:

$$-1 \leq r \leq +1 \quad (4)$$

По формуле (5) рассчитывается коэффициент МАРЕ:

$$MAPE = \frac{1}{n} \cdot \sum \left| \frac{y_x - \hat{y}_x}{y_x} \right| \cdot 100. \quad (5)$$

Если значение этого коэффициента не превышает 5–7 %, то уравнение тренда хорошо описывает установку временного ряда.

При статистической обработке результатов применялся пакет программ MS Excel.

#### Результаты и их обсуждения

Проектирование имитационной модели экосистемы на основе системного анализа предполагает выбор профессиональных подходов в проведении и управлении процессами для создания благополучия любой природной среды. Качество выполняемой математической модели для прогноза динамики элементов экосистемы обуславливается качеством информации исследуемого объекта, учитывая сопоставимость и достоверность используемых данных.

В нашей работе для определения прогнозных величин и построения на их основе линейного тренда были использованы статистические данные КИЗВ за 2016–2018 гг. В качестве загрязняющих веществ с наибольшими концентрациями были приняты нефтепродукты, железо общее, сульфаты, магний и натрий [13–15]. Кроме того, самостоятельно были выполнены расчеты недостающих показателей КИЗВ за 2019–2021 гг.

Вычислим все необходимые параметры системы (2) и сведем их в таблицу 1.

Т а б л и ц а 1

Расчетные величины для построения модели линейного тренда (1)

Годы	$x$	$y$ (КИЗВ)	$x^2$	$yx$	Значения тренда (8)
2016	1	2,08	1	2,08	1,952
2017	2	1,95	4	3,90	1,938
2018	3	1,70	9	5,10	1,925
2019	4	1,93	16	7,72	1,912
2020	5	1,85	25	9,25	1,898
2021	6	2,00	36	12,00	1,885
Итого:	21	11,51	91	40,05	11,51

Подставляем значения из таблицы 1 в систему уравнений (2):

$$\begin{cases} 6 \cdot a + 21 \cdot b = 11,51; \\ 21 \cdot a + 91 \cdot b = 40,05. \end{cases} \quad (6)$$

Получили следующие значения, выполнив решение системы (5):

$$\begin{cases} a = 1,965; \\ b = -0,0134. \end{cases} \quad (7)$$

Модель тренда (1) будет выглядеть следующим образом:

$$y = 1,965 - 0,0134 \cdot x. \quad (8)$$

Рассчитаем коэффициент автокорреляции по формуле (3), его величина равна  $-0,235$ . Полученное значение коэффициента автокорреляции  $r$  соответствует условию неравенства (4).

Коэффициент средней ошибки аппроксимации, определяемый по формуле (5), составил 4,963 %. Значение этого коэффициента по абсолютной величине показывает исследуемую совокупность достаточно результативно и является достоверным параметром для выполняемых прогнозных расчетов.

На рисунке 2 показано линейное изображение тренда функции (8) и динамика значений КИЗВ реки Есиль в 2016–2021 гг. в виде ломаной линии.

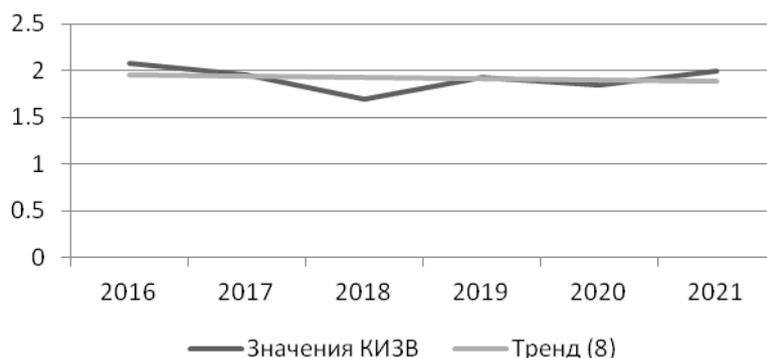


Рисунок 2. Динамика КИЗВ реки Есиль и тренд линейной функции (8)

Результаты вычислений показали, что тренд линейной функции, выполненный по расчетным значениям КИЗВ реки Есиль на территории Северо-Казахстанской области, имеет убывающий характер (рис. 2).

При прогнозировании ожидаемого значения КИЗВ в перспективе на пять лет была получена структурная схема, отображающая направленность линейной функции с уменьшением рассматриваемого показателя на величину 0,012 ежегодно. Число уровней ряда наблюдений показывает устойчивость временного ряда и считается оптимальным для анализа и выводов по полученным результатам.

По формуле 1 можно рассчитать прогнозные величины КИЗВ за любой период времени, но более точные результаты предположений можно ожидать, когда сроки планирования не превышают 3–5 лет (табл. 2).

Т а б л и ц а 2

**Ожидаемые значения КИЗВ в результате прогноза**

Годы	2022	2023	2024	2025	2026
Прогнозные величины КИЗВ	1,95	1,94	1,93	1,91	1,90

Рассчитанная перспективная модель может являться дополнительным аргументом для анализа реальной экологической ситуации в регионе с целью более точного и квалифицированного планирования процессов по обеспечению устойчивого и сбалансированного развития окружающих территорий.

Вопросам прогнозирования большое внимание уделяют китайские экологи, выполнив оценку колебаний качества воды с помощью водного экологического индекса годового стока бассейна реки Хуанхэ под влиянием изменяющихся климатических условий. В ходе исследования была установлена связь между индексом качества воды (WQI) и индексом трофического статуса (TSI) за период 2011–2018 гг. При изменении этих параметров выполнена оценка текущего и перспективного состояния водотока с помощью пошаговой множественной линейной регрессии. Эта работа позволила провести анализ качества воды реки Хуанхэ и создать основу для успешного управления любыми водными объектами [16].

Для геоэкологической оценки качественного состояния поверхностных вод реки Иле Ж.С. Мустафаев и Л.М. Рыскулбекова [17] предложили использовать коэффициент предельно-допустимой концентрации загрязненности воды  $K_{ndzi}$  в совокупности с индексом загрязненности воды (ИЗВ). Математическая модель коэффициента  $K_{ndzi}$  была определена по результатам структурного анализа ИЗВ с учетом законов лимитирующих факторов. По результатам моделирования была выявлена математическая связь в виде логарифмического уравнения, анализ которого показал, что между коэффициентом  $K_{ndzi}$  и ИЗВ определена высокая корреляция (0,8). Кроме того, предложено применение лимитирующего показателя вредности (ЛПВ), который показывает опасное для применения содержание вредных примесей в воде при сравнении с предельно-допустимой концентрацией (ПДК). Авторы считают, что предложенная методика оценки наиболее адекватно отражает состояние водных источников, которые обладают способностью самоочищения на участках водотока с пониженной техногенной нагрузкой и за счет воды от притоков.

В рамках исследования по Программе сохранения заповедников (CRP) ученые из Китая поставили задачу преобразования пахотных земель в естественный почвенный покров с улучшением качественного состояния воды в нижнем течении рек. Выбранные подходы для решения этой проблемы содержали архивные данные обследования, результаты мониторинга качества воды (общее содержание азота) и наблюдения с помощью дистанционного зондирования за период 1999–2014 гг. В результате была определена множественная линейная регрессия, которая показала положительную корреляцию, связанную с увеличением пахотных земель и улучшенными показателями качества воды, в соответствии с CRP. Полученные результаты позволят успешно развивать сельскохозяйственные угодья фермерских хозяйств, используя выявленную эффективную связь природно-антропогенной системы с прилегающими водными объектами [18].

Некоторые подходы для оценки качества водных объектов, связанные с оценкой сохранения биологического разнообразия экосистем, описаны в работах Т.И. Моисеенко [4]. Эти исследования были проведены в дельте реки Волги и ее нижнем течении, где определялось влияние загрязняющих веществ (V, Cu, Mn, производные диоксана и др.), содержание которых в воде превышало ПДК, на изменения в организме рыб наиболее распространенного вида леща *Abramis brama*. Было отмечено, что выявленные случаи интоксикации и физиологические нарушения в тканях рыб наблюдались на всех рассматриваемых участках реки. Эти выводы позволили построить зависимости, устанавливающие влияние уровня загрязнения вод на степень выраженных патологий у рыб. Представленные результаты указывают на необходимость уменьшения степени загрязнения водных объектов и поиска способов регулирования качества среды обитания.

А.Н. Анурьева и Т.Я. Лопарева [19] в своей статье описывают результаты многолетнего мониторинга (2006–2014 гг.), позволившие установить корреляцию между развитием биомассы бентоса и загрязнением микроэлементами озера Балхаш. Увеличение бентофауны водоема влияет на развитие промысловой отрасли, поэтому авторами была проведено исследование, которое показало количественное изменение биомассы кормовых организмов в зависимости от степени загрязнения микроэлементами водной среды. По результатам выполненной работы было установлено, что между количеством зообентоса и накоплением донных отложений тяжелыми металлами выявлена корреляционная зависимость, которая была подтверждена коэффициентом корреляции. Отмечено, что в зонах, находящихся рядом с промышленными предприятиями, наблюдалось высокое содержание загрязняющих микроэлементов (суммарная величина определялась в интервале 0,85...6,61 г/кг) с минимальным приростом биомассы и отмечалась высокая отрицательная корреляция в пределах  $-0,76...-0,80$ . По мере удаления от этих зон количество биомассы возрастало при снижении количества донных отложений, и величина коэффициента корреляции снижалась до уровня  $-0,02$ . В самой удаленной зоне от источника загрязнения наблюдалась небольшая положительная корреляция с коэффициентом около  $+0,5$ . При этом в возросшем количестве биомассы организмов улучшилась качественная составляющая бентофауны.

В нашем исследовании прогноз качественного состояния реки Есиль (тренд линейной функции 8, рис. 2) показал, что между зависимым (параметр  $y$ ) и независимым (параметр  $x$ ) компонентами линейной функции была выявлена обратная связь, характеризующая снижение эндогенного параметра (значения КИЗВ) с течением времени. К 2026-му году величина КИЗВ может составить 1,90 (табл. 2).

В соответствии с действующими санитарными нормами река Есиль на территории Северо-Казахстанской области за период 2019–2022 гг. относилась к 4-му классу, так как гидроморфологический суммарный индекс определялся в пределах 10–13. По этой категории водопользования из 42 физико-химических параметров в 2019 году наблюдались превышения концентрации взвешенных веществ, в период 2019–2021 гг. — концентрации фенолов, в 2021–2022 гг. — концентрации магния. Случаев высокого загрязнения и экстремально высокого загрязнения поверхностных вод не отмечалось. Вода такого уровня качества не рекомендована для рекреации и пригодна только для орошения и промышленного водопользования. Для использования воды в хозяйственно-питьевых целях необходима ее интенсивная подготовка на водозаборах [20–23].

#### Заключение

Большое разнообразие подходов к оценке качества водных ресурсов требует всеобъемлющего изучения и серьезного анализа для получения подлинных результатов, которые должны соответствовать принятым нормам и способствовать развитию окружающей природной экосистемы.

Единая классификация определяет критерии оптимальности для использования воды любых источников в соответствии необходимыми условиями деятельности и выявляет пороговые значения допустимых нагрузок. Согласно этим требованиям высокое загрязнение устанавливается в том случае, когда химическое вещество превышает все числовые значения стандартов и фоновый класс рассчитывается за пятилетний период наблюдений.

Так как в нашей работе качественный уровень воды в реке Есиль по этим условиям оценивался только в течение четырех лет, можно провести параллель при сравнении основных показателей расчетных параметров, полученных по разным методикам. Ранее построенный тренд линейной функции показал уменьшение исследуемой величины, поэтому можно предположить, что при складывающейся экологической обстановке значения КИЗВ в ближайшие годы также не будут возрастать, это не противоречит и соответствует новым требованиям, предъявляемым к качеству воды. Следовательно, выполненный прогноз можно считать объективным и обоснованным. Опираясь на положительные прогнозные значения, необходимо создавать условия для улучшения показателей качества воды в соответствии с категориями водопользования.

При сравнении различных условий по нормированию водных объектов, которые были установлены в Казахстане в разные годы, можно увидеть, что в настоящее время согласно Единой классификации особое внимание уделено гидроморфологическому суммарному индексу, который определяет категорию и пределы физико-химических значений водного источника. Эти нормы увеличивают задачи качественного контроля, но дают возможность в перспективе управлять и улучшать характеристики водотоков, повышая экологический потенциал водного объекта.

Важно отметить, что нормативная документация «Единая система классификации качества воды в водных объектах» предъявляет более высокие требования к параметрам питьевой воды, что позволит снизить риск его негативного влияния на здоровье человека и обеспечит более эффективное планирование водохозяйственных мероприятий для успешного развития любой природной среды.

В настоящее время Казахстан и другие Центрально-Азиатские государства используют разработанную комплексную систему для обеспечения качества водных ресурсов. Вместе с тем, продолжается корректировка и совершенствование правовой базы с учетом национальных особенностей для формирования благоприятного статуса водных объектов в этих регионах.

### Список литературы

- 1 Мукашева Г.Ж. Использование водных ресурсов реки Есиль в различных отраслях экономики / Г.Ж. Мукашева // Молодой ученый. — 2019. — № 14. — С. 50–54.
- 2 Nijhawan A. Associations between climate variables and water quality in low- and middle-income countries: a scoping review / A. Nijhawan, G. Howard // *Water Research*. — 2022. — Vol. 210. — P. 1917–1932.
- 3 Yan B. Coincidence probability of precipitation for the middle route of South-to-North water transfer project in China / B. Yan, L. Chen // *Journal of Hydrology*. — 2013. — Vol. 499. — P. 19–26.
- 4 Моисеенко Т.И. Концепция «здоровья» экосистемы в оценке качества вод и нормирования антропогенных нагрузок / Т.И. Моисеенко // *Экология*. — 2008. — № 6. — С. 411–419.
- 5 Развин С.В. Комплексный подход к проблеме водоснабжения Северо-Казахстанской области / С.В. Развин // *Экология и устойчивое развитие*. — 2003. — № 1. — С. 47–51.
- 6 Шайкина Д.Н. Влияние окружающей среды на продолжительность жизни населения Северо-Казахстанской области / Д.Н. Шайкина, Г.С. Тлеубергенова, Е.В. Галактионова // *Вестн. Сев.-Казахстан. ун-та им. Манаша Козыбаева*. — 2020. — Т. 49, № 4. — С. 181–188.
- 7 Информационный сайт МИА «Казинформ». — 2020. — [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://www.inform.kz/>
- 8 Антроповский В.И. Гидроморфометрические зависимости и их дальнейшее развитие / В.И. Антроповский // *Тр. Гос. гидролог. ин-та*. — Л., 1969. — Вып. 169. — С. 34–86.
- 9 Wharton G. River Discharge estimated from Channel dimensions / G. Wharton, N.W. Arnell, K.J. Gregory, A.M. Gurnell // *Journal of Hydrology*. — 1989. — Vol. 106. — P. 365–376.
- 10 Williams G.P. Bank full Discharge of Rivers / G.P. Williams // *Water Resources Research*. — 1978. — Vol. 6. — P. 1141–1154.
- 11 Анализ стандартов качества поверхностной воды в странах Центральной Азии. Доклад Ассоциации практикующих экологов. — Казахстан, 2020. — С. 2–4.
- 12 Статистика: учеб. / под ред. И.И. Елисеевой. — М.: Проспект, 2010. — 448 с.

- 13 Информационный бюллетень о состоянии окружающей среды Республики Казахстан // Департамент экологического мониторинга. — Астана, 2016. — С. 377–378.
- 14 Информационный бюллетень о состоянии окружающей среды Республики Казахстан // Департамент экологического мониторинга. — Астана, 2017. — С. 314–315.
- 15 Информационный бюллетень о состоянии окружающей среды Республики Казахстан // Департамент экологического мониторинга. — Астана, 2018. — С. 374–375.
- 16 Мустафаев Ж.С. Геоэкологическая оценка качества поверхностных вод речного бассейна с математическим анализом (на примере реки Иле) / Ж.С. Мустафаев, Л.М. Рыскулбекова // Гидрометеорология и экология. — 2021. — № 4. — С. 6–18.
- 17 Tian L. Long-term trends in water quality and influence of water recharge and climate on the water quality of brackish-water lakes: A case study of Shahu Lake / L. Tian, X. Zhu, L. Wang, P. Du, F. Peng, Q. Pang // Journal of Environmental Management. — 2020. — Vol. 276. — P. 1521–1532.
- 18 Yin D. Water quality related to Conservation Reserve Program (CRP) and cropland areas: Evidence from multi-temporal remote sensing / D. Yin, L. Wang, Zh. Zhu, S. Spierre Clark, Y. Cao, J. Besek, N. Dai // International Journal of Applied Earth Observations and Geoinformation. — 2021. — Vol. 96. — P. 93–102.
- 19 Анурьева А.Н. Корреляционная зависимость биомассы кормовых организмов от загрязнения биоты микроэлементами в озере Балхаш / А.Н. Анурьева, Т.Я. Лопарева // Гидрометеорология и экология. — 2015. — № 2. — С. 121–127.
- 20 Информационный бюллетень о состоянии окружающей среды Республики Казахстан // Департамент экологического мониторинга. — Нур-Султан, 2019. — С. 70–72.
- 21 Информационный бюллетень о состоянии окружающей среды Республики Казахстан // Департамент экологического мониторинга. — Нур-Султан, 2020. — С. 49–50.
- 22 Информационный бюллетень о состоянии окружающей среды Республики Казахстан // Департамент экологического мониторинга. — Нур-Султан, 2021. — С. 30.
- 23 Информационный бюллетень о состоянии окружающей среды Северо-Казахстанской области // Филиал РГП «Казгидромет» по СКО. — Петропавловск, 2022. — С. 12.

Д.Н. Шайкина, Е.В. Галактионова, А.С. Маратова,  
Г.С. Тлеубергенова, С.М. Базарбаева, В.Ю. Панченко, К.С. Жадан

### **Солтүстік Қазақстан облысындағы Есіл өзені суының сапасын экологиялық-статистикалық болжау**

Мақалада экологиялық мониторинг нәтижелерін пайдалана отырып, Солтүстік Қазақстан облысының аумағындағы Есіл өзенінің су ресурстарының сапасын бағалауға арналған түрлі тәсілдер келтірілген. Аймақ үшін трансшекаралық артерия болып табылатын өзенге қысқаша сипаттама берілген. Зерттелетін кезеңдегі судың ластануының кешенді индексінің (СЛКИ) динамикасы келтірілген. 2014–2018 жылдар аралығында оның төмендегенін көрсететін СЛКИ шамаларына салыстырмалы талдау жасалды. Есіл өзенінің су сапасы орташа ластану деңгейімен сипатталды. Авторлар Қазақстанда 2019 жылдан бері қолданылып келе жатқан «Су объектілеріндегі су сапасын жіктеудің бірыңғай жүйесі» жаңа нормативтік құжатының негізгі ережелерін келтіріп және оның талаптарына сәйкес зерттелетін объектінің сапасын бағалауды ұсынды. Қолданыстағы экологиялық-статистикалық модельдеу әдістерін қолдана отырып, орта мерзімді кезеңде Солтүстік Қазақстан облысында Есіл өзенінің СЛКИ мәндерінің даму болжамы жасалды. Болжам сызықтық функция трендін құруға негізделген. Графикалық кескінді құру үшін мұндай есептеулерді қолданудың сәйкестігі болжамдық модельді оңтайлы бағалайтын коэффициенттерді анықтау арқылы расталды. Алынған нәтижелер жақын арада СЛКИ параметрлерінің жоғарылауын көрсетпейді, өйткені уақыт өте келе эндогендік параметрдің төмендеуін сипаттайтын сызықтық функцияның тәуелді және тәуелсіз компоненттері арасында кері байланыс анықталды. Экожүйе объектілерін модельдеу нәтижелері қоршаған орта сапасының нашарлауына жол бермейтін жағдайлардың дамуын талдау және болжау үшін қажет. Келтірілген әдісті аймақтың тұрақты даму бағдарламаларын әзірлеу және жетілдіру кезінде қолдануға болады.

*Кілт сөздер:* экожүйе, су ресурстарының сапасы, мониторинг, динамика, судың ластануының кешенді индексі, болжау, тренд.

D.N. Shajkina, E.V. Galaktionova, A.S. Maratova,  
G.S. Tleuberanova, S.M. Bazarbayeva, V.Y. Panchenko, K.S. Zhadan

### **Ecologic-statistical forecasting of the water quality of the Yesil river in the North Kazakhstan region**

In the article various approaches for assessing the quality of water resources of the Yesil River in the North Kazakhstan region using the results of environmental monitoring were presented. A brief description of the river, which is a trans-boundary artery for the region, was given. The dynamics of the complex index of water pollution (CIWP) for the considered period was shown. A comparative analysis of the CIWP values was carried out, showing its decrease over the period 2014–2018. The water quality of the Yesil River was characterized as a moderate level of pollution. The main provisions of the new regulatory document “Unified System for Classifying the Water Quality in Water Bodies” were presented by the authors, which has been in force in Kazakhstan since 2019, and provides an assessment of the quality of the researched object in compliance with its requirements. Using the existing ecological and statistical modeling methods, a forecast of the development of the Yesil river CIWP values in the North Kazakhstan region in the medium term was performed. The forecast was based on the building a trend of a linear function. The adequacy of using such calculations for building a graphical image was confirmed by determining the coefficients, which optimally assess the forecasting model. The obtained results do not show an increase in the parameters of the CIWP in the short term, since a feedback was revealed between the dependent and independent components of the linear function, which characterizes the decrease of the endogenous parameter over time. The results of modeling ecosystem objects are necessary for analyzing and forecasting the development of situations that make it possible to prevent deterioration of the environment’s quality. The presented methodology can be used under development of sustainable development programs of the region.

*Keywords:* ecosystem, water resources quality, monitoring, dynamics, complex water pollution index, forecasting, trend.

#### References

- 1 Mukasheva, G.J. (2019). Ispolzovanie vodnykh resursov reki Esil v razlichnykh otrasliakh ekonomiki [The use of the water resources of the Yesil River in various sectors of the economy]. *Molodoi uchenyi — Young scientist*, 14; 50–54 [in Russian].
- 2 Nijhawan, A. & Howard, G. (2022). Associations between climate variables and water quality in low- and middle-income countries: a scoping review. *Water Research*, 210; 1917–1932.
- 3 Yan, B. & Chen, L. (2013). Coincidence probability of precipitation for the middle route of South-to-North water transfer project in China. *Journal of Hydrology*, 499; 19–26.
- 4 Moiseenko, T.I. (2008). Kontseptsia «zdorovia» ekosistemy v otsenke kachestva vod i normirovaniia antropogennykh nagruzok [The concept of ecosystem “health” in the assessment of water quality and regulation of anthropogenic loads]. *Ekologiya — Ecology*, 6; 411–412 [in Russian].
- 5 Razvin, S.V. (2003). Kompleksnyi podkhod k probleme vodosnabzheniia Severo-Kazakhstanskoi oblasti [An integrated approach to the problem of water supply in the North Kazakhstan region]. *Ekologiya i ustoichivoe razvitie — Ecology and sustainable development*, 1; 47–51 [in Russian].
- 6 Shaikina, D.N., Tleuberanova, G.S., & Galaktionova, E.V. (2020). Vliianie okruzhaiushchei sredy na prodolzhitel'nost zhizni naseleniia Severo-Kazakhstanskoi oblasti [The influence of the environment on the life expectancy of the population of the North Kazakhstan region]. *Vestnik Severo-Kazakhstanskogo universiteta imeni Manasha Kozybaeva — Bulletin of the North Kazakhstan University named after Manash Kozybaev*, 49(4); 181–188 [in Russian].
- 7 (2020). Informatsionnyi sait MIA «Kazinform» [Information web-site of IIA «Kazinform»]. *kazinform.kz*. Retrieved from <https://www.inform.kz/> [in Russian].
- 8 Antropovsky, V.I. (1969). Gidromorfometricheskie zavisimosti i ikh dalneishee razvitie [Hydromorphometric dependencies and their further development]. *Trudy Gosudarstvennogo gidrologicheskogo instituta — Proceedings of State Hydrological Institute*, 169; 34–86 [in Russian].
- 9 Wharton, G., Arnell, N.W., Gregory, K.J., & Gurnell, A.M. (1989). River Discharge estimated from Channel dimensions. *Journal of Hydrology*, 106; 365–376.
- 10 Williams, G.P. (1978). Bank full Discharge of Rivers. *Water Resources Research*, 6, 1141–1154.
- 11 (2020). *Analiz standartov kachestva poverkhnostnoi vody v stranakh Tsentralnoi Azii. Doklad Assotsiatsii praktikuiushchikh ekologov [Analysis of surface water quality standards in Central Asian countries. Report of Association of Practicing Ecologists]. Kazakhstan* [in Russian].
- 12 Eliseeva, I.I. (Ed.). (2010). *Statistika*. Moscow: Prospekt [in Russian].

- 13 (2016). *Informatsionnyi biulleten o sostoianii okruzhaiushchei sredy Respubliki Kazakhstan [Information bulletin on the state of the environment of the Republic of Kazakhstan]. Departament ekologicheskogo monitoringa — Department of Environmental Monitoring*, 377–378. Astana [in Russian].
- 14 (2017). *Informatsionnyi biulleten o sostoianii okruzhaiushchei sredy Respubliki Kazakhstan [Information bulletin on the state of the environment of the Republic of Kazakhstan]. Departament ekologicheskogo monitoringa — Department of Environmental Monitoring*, 314–315. Astana [in Russian].
- 15 (2018). *Informatsionnyi biulleten o sostoianii okruzhaiushchei sredy Respubliki Kazakhstan [Information bulletin on the state of the environment of the Republic of Kazakhstan]. Departament ekologicheskogo monitoringa — Department of Environmental Monitoring*, 374–375. Astana [in Russian].
- 16 Mustafayev, J.S. & Ryskulbekova, L.M. (2021). Geoekologicheskaya otsenka kachestva poverkhnostnykh vod rechnogo basseina s matematicheskim analizom (na primere reki Ile) [Geoecological assessment of the quality of surface waters of a river basin with mathematical analysis (using the example of the Ile River)]. *Gidrometeorologiya i ekologiya — Hydrometeorology and Ecology*, 4; 6–18 [in Russian].
- 17 Tian, L., Zhu, X., Wang, L., Du, P., Peng, F., & Pang, Q. (2020). Long-term trends in water quality and influence of water recharge and climate on the water quality of brackish-water lakes: A case study of Shahu Lake. *Journal of Environmental Management*, 276; 1521–1532.
- 18 Yin, D., Wang, L., Zhu, Zh., Spierre Clark, S., Cao, Y., Besek, J., & Dai, N. (2021). Water quality related to Conservation Reserve Program (CRP) and cropland areas: Evidence from multi-temporal remote sensing. *International Journal of Applied Earth Observations and Geoinformation*, 96; 93–102.
- 19 Anuryeva, A.N. & Lopareva, T.Ya. (2015). Korrelyatsionnaya zavisimost biomassy kormovykh organizmov ot zagriazneniya bioty mikroelementami v ozere Balkhash [Correlation dependence of biomass of forage organisms on contamination of biota microelements in Lake Balkhash]. *Gidrometeorologiya i ekologiya — Hydrometeorology and Ecology*, 2; 121–127 [in Russian].
- 20 (2019). *Informatsionnyi biulleten o sostoianii okruzhaiushchei sredy Respubliki Kazakhstan [Information bulletin on the state of the environment of the Republic of Kazakhstan]. Departament ekologicheskogo monitoringa — Department of Environmental Monitoring*, 70–72. Nur-Sultan [in Russian].
- 21 (2020). *Informatsionnyi biulleten o sostoianii okruzhaiushchei sredy Respubliki Kazakhstan [Information bulletin on the state of the environment of the Republic of Kazakhstan]. Departament ekologicheskogo monitoringa — Department of Environmental Monitoring*, 49–50. Nur-Sultan [in Russian].
- 22 (2021). *Informatsionnyi biulleten o sostoianii okruzhaiushchei sredy Respubliki Kazakhstan [Information bulletin on the state of the environment of the Republic of Kazakhstan]. Departament ekologicheskogo monitoringa — Department of Environmental Monitoring*, 30. Nur-Sultan [in Russian].
- 23 (2022). *Informatsionnyi biulleten o sostoianii okruzhaiushchei sredy Severo-Kazakhstanskoi oblasti [Information bulletin on the state of the environment of the North Kazakhstan region]. Filial RGP «Kazgidromet» po SKO — Branch of RSE «Kazgidromet» of NKR*. Petropavlovsk, 12 [in Russian].

### Information about the authors

**Shajkina Dinara Nurlanovna** — Candidate of biological sciences, senior lecturer of Manash Kozybayev North Kazakhstan University, Petropavlovsk, Kazakhstan; e-mail: [shajkina86@mail.ru](mailto:shajkina86@mail.ru);

**Galaktionova Elena Vladimirovna** — Master of sciences, senior lecturer of Manash Kozybayev North Kazakhstan university, Petropavlovsk, Kazakhstan; e-mail: [galaktionova7272@mail.ru](mailto:galaktionova7272@mail.ru);

**Maratova Assel Serikpaevna** — Master of sciences, senior lecturer of Manash Kozybayev North Kazakhstan university, Petropavlovsk, Kazakhstan; e-mail: [ms.itkulova@mail.ru](mailto:ms.itkulova@mail.ru);

**Tleubergenova Gulnara Seytkasymovna** — Associated professor, candidate of biological sciences, Manash Kozybayev North Kazakhstan University, Petropavlovsk, Kazakhstan; e-mail: [tleubergenova@mail.ru](mailto:tleubergenova@mail.ru);

**Bazarbaeva Saule Muhametkaliyevna** — PhD, senior lecturer of Manash Kozybayev North Kazakhstan University, Petropavlovsk, Kazakhstan; e-mail: [smbazarbaeva@ku.edu.kz](mailto:smbazarbaeva@ku.edu.kz);

**Panchenko Viktoriya Yurevna** — Master of sciences, senior lecturer of Manash Kozybayev North Kazakhstan University, Petropavlovsk, Kazakhstan; e-mail: [v.aderikhina@mail.ru](mailto:v.aderikhina@mail.ru);

**Zhadan Konstantin Sergeevich** — Master of science, senior lecturer of Manash Kozybayev North Kazakhstan University, Petropavlovsk, Kazakhstan; e-mail: [konstantin\\_zhadan@mail.ru](mailto:konstantin_zhadan@mail.ru).