

УДК 549

**А. А. Эннан, Г. Н. Шихалеева, А. В. Сизо, С. К. Бабинец**Физико-химический институт защиты окружающей среды и человека  
МОН и НАН Украины (ФХИЗОСич)  
ул. Преображенская, 3, Одесса, 65082, Украина

## ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ВОДЫ КУЯЛЬНИЦКОГО ЛИМАНА ПО КОМПЛЕКСУ ГИДРОХИМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ

В работе представлена методика геоинформационной (ГИС) оценки уровня загрязнения водоема по гидрохимическим показателям. Предложенная структура ГИС оценки качества вод реализована на базе программного обеспечения ArcGIS ESRI и апробирована на данных систематических исследований гидрохимического режима вод Куяльницкого лимана в период 1999—2009 гг. По результатам анализа построены карты уровня загрязнения акватории лимана по ряду приоритетных для района исследований токсикантов органической и неорганической природы и величине интегрального показателя комплексной оценки состояния водоема — индекса загрязнения воды (ИЗВ). Результаты картирования позволили выявить основные источники поступления загрязняющих веществ в водоем, пути их миграции, зоны наибольших загрязнений.

**Ключевые слова:** ГИС оценка, вода, гидрохимические показатели, Куяльницкий лиман.

Интерес к исследованию Куяльницкого лимана (Кл) обусловлен ценностью его природных рекреационных ресурсов (лечебной рапы, сульфидно-иловых грязей и источников минеральной хлоридно-натриевой воды) [1—3]. Как показали результаты комплексного мониторинга Кл, выполненные ФХИЗОСич в 1999—2009 гг., экосистемы бассейна Кл испытывают негативные воздействия различного происхождения (промышленные выбросы, автотранспорт, дорожно-транспортная инфраструктура, сбросы неочищенных сточных, ливневых и талых вод с бассейна водосбора, водотоков антропогенного происхождения), а также вследствие неупорядоченного рекреационного использования прибрежной зоны [4—7]. В связи с этим оценка качества воды и картирование экологического состояния водных экосистем Кл является одной из числа актуальных задач, решение которой не возможно без применения современных геоинформационных систем (ГИС).

ГИС позволяет хранить большой массив информации, осуществлять анализ и проводить моделирование процессов, происходящих в экосистемах. Инструментарий ГИС дает возможность организовать множество оценок и показателей в виде перечня слоев в одном проекте, проводить на этой основе многофакторный анализ экологического состояния сложных природных объектов и оперативно представлять сложившуюся обстановку на географической карте.

Единичные измерения не дают полного представления о суммарном загрязнении водоема. В настоящей работе представлена система оценки

качества воды в Кл по данным гидрохимических показателей за последнее десятилетие, построенная на базе геоинформационной системы.

### **Материалы и методики исследования**

Материалом для современной оценки качества воды Кл и динамики ее изменений с течением времени под влиянием естественных и антропогенных факторов послужили данные регулярных гидрохимических наблюдений в период 1999—2009 гг. по сети 14 станций мониторинга, расположенных вдоль прибрежной акватории лимана на расстоянии до 100 м от уреза воды (рис. 1).

Список параметров гидрохимических наблюдений включает 34 показателя, которые отражают газовый и ионный состав воды лимана, содержание биогенных компонентов, органического вещества, микроэлементов, специфических загрязнителей неорганической и органической природы.

Оценка качества воды лимана производится по кратности предельно-допустимых концентраций (ПДК) нормируемых гидрохимических показателей в соответствии с таблицей пересчета и по интегральному показателю оценки качества поверхностных вод — индексу загрязнения воды (ИЗВ), который широко используется в практике комплексной оценки качества вод водоемов [10]. Учитывая, что Кл относится к лечебным водоемам и используется для рекреационных целей, нормирование и расчет ИЗВ проводится на основе ПДКв для водоемов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового назначения. При расчете ИЗВ Кл наряду с обязательными (рН, растворенный кислород, БПК5) использовались те показатели (азот аммонийный, фенолы, свинец), по которым на каждой из станций мониторинга в период 1999—2009 гг. наблюдались наибольшие относительные концентрации. В зависимости от величины ИЗВ определяли класс качества воды в соответствии с таблицей [10].

Результаты гидрохимических наблюдений по станциям мониторинга в акватории Кл, значения санитарно-гигиенических нормативов поверхностных вод и картографический материал района исследований составляют информационную основу базы данных «ГИС качества воды Куяльницкого лимана». Структура ГИС реализована на базе программного обеспечения (ПО) ArcGIS ESRI. Анализ атрибутивных и пространственных данных выполняется с помощью модулей ПО ArcGIS ESRI: 3D Analyst, Spatial Analyst; а также разработанных нами целевых модулей: модуля построения пространственного распределения нормируемого гидрохимического показателя в долях ПДКв; модуля расчета ИЗВ; модуля построения пространственного распределения величин ИЗВ.

Разработанный модуль расчета ИЗВ предполагает возможность изменения приоритетности учета критериев качества воды и может быть легко трансформирован для расчетов других показателей оценки ее качества, например показателя химического загрязнения воды ПХЗ-10, где вместо 6 показателей учитывается 10.

Результаты обработки показателей оценки качества воды имеют географическую привязку и могут быть нанесены на карту. В качестве топоосновы использовались топографические карты района Кл, прилегающих территорий масштабом 1:100 000 и трехмерная модель чаши лимана, смоделированная нами на основе топографической съемки 1975 г. [8] с учетом заиления дна лимана согласно данным [9]. С использованием модуля ArcGIS Geostatistical Analyst производится интерполяция значе-

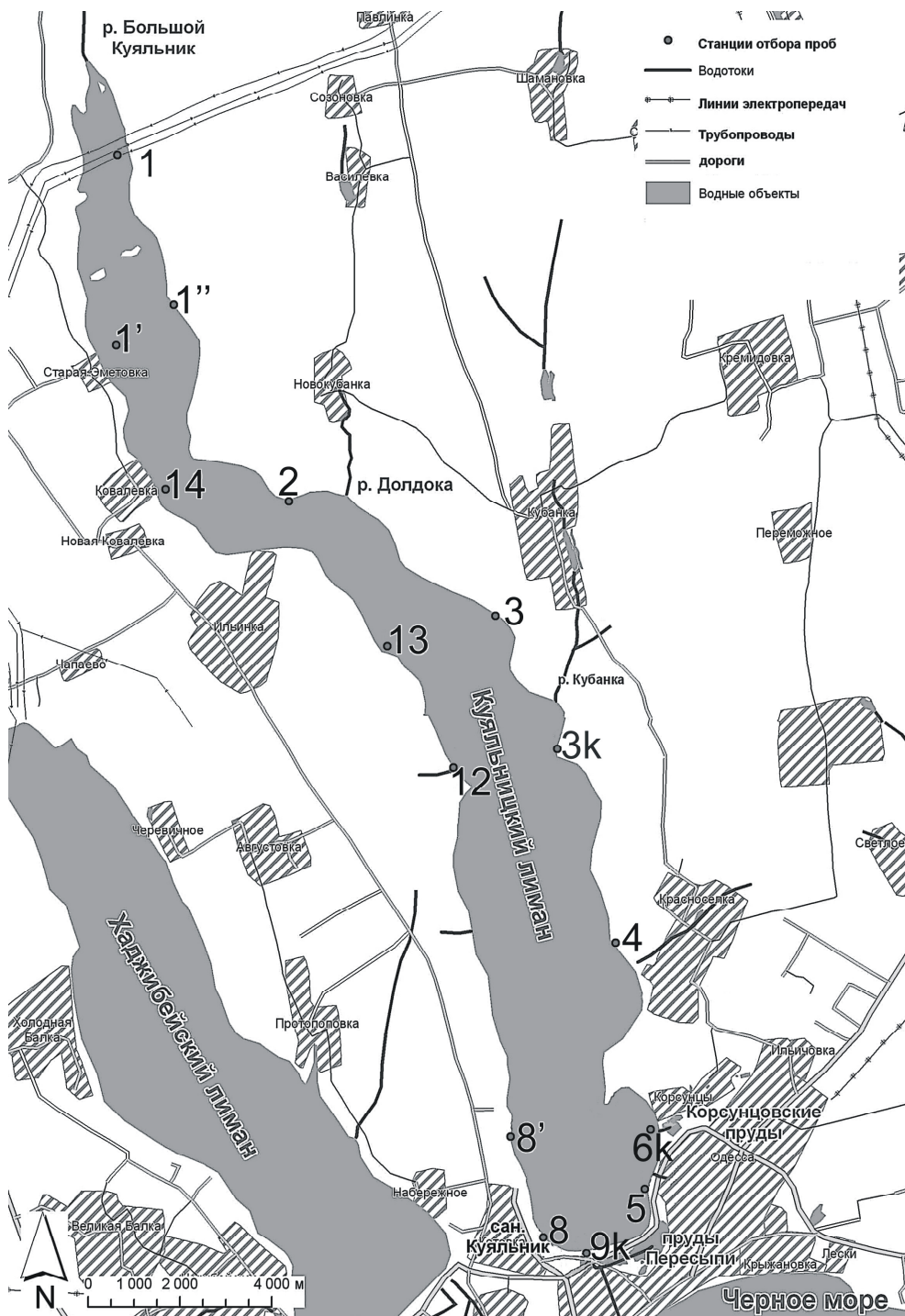


Рис. 1. Карта-схема Куяльницкого лимана с указанием номеров станций мониторинга

ний и построение поверхностей оценки состояния водоема по комплексу гидрохимических показателей и величинам ИЗВ. Причем картирование пространственного распределения проводится с учетом смоделированных по уровню воды морфометрических параметров лимана.

Структура созданной ГИС позволяет получать информацию о тенденциях изменения качества вод Куяльницкого лимана в следующих основных вариантах: в форме графиков, например гистограмм для каждой из выбранных станций или средних (среднемноголетних, среднегодовых, сезонных) значений по акватории лимана; в форме табличных данных, таких как файлы формата .dbf; растровых карт пространственного распределения.

Количество привлекаемых для характеристики показателей определяется полнотой информационной базы и качеством содержащейся в ней информации. Все данные связаны с пространственной информацией. База результатов гидрохимических наблюдений хранится в виде таблиц вместе со слоем станций наблюдений.

Для определения лимитирующих показателей в анализируемом водоеме из базы данных выбираем перечень основных контролируемых параметров, отражающих уровень загрязнения водоема веществами неорганической и органической природы, и ранжируем их по степени превышения ПДКв. Все вещества-загрязнители, для которых соотношения фактических концентраций к ПДКв превышают 1, объединяются в группу лимитирующих показателей.

### Результаты и их обсуждение

Количественные показатели уровня загрязнения Кл биогенными компонентами, веществами токсического действия неорганической (тяжелые металлы) и органической (летучие фенолы, нефтепродукты, формальдегид) природы и динамика их изменения в период 1999—2009 гг. представлены на диаграммах рис. 2.

Из приведенных на рис. 2 диаграмм видно, что основными лимитирующими показателями органического загрязнения акватории лимана являются летучие фенолы, нефтепродукты и формальдегид, неорганического загрязнения — свинец и азот аммонийный. По кратности превышения ПДК согласно среднемноголетним данным они ранжируются в следующий ряд: фенолы > нефтепродукты > азот аммонийный > формальдегид > > свинец. По токсичности формальдегид и свинец относят к 2 классу опасности, азот аммонийный — 3 классу опасности, фенолы и нефтепродукты — 4 классу опасности.

Пространственное распределение по акватории лимана основных из группы лимитирующих показателей по среднемноголетним за 1999—2009 гг. данным представлено на картах-схемах рис. 3, сезонное распределение в различные по водности годы — на рис. 4.

Следует отметить, что основной особенностью Кл является большая амплитуда уровней и минерализации воды, а также неоднородность ее распределения по акватории [11,12]. Хозяйственная деятельность на территории водосборного бассейна Кл, прибрежно-склоновых территориях и побережье лимана привела к деградации малых рек, впадающих в лиман. В исследуемый период среднегодовой объем водной массы колебался в диапазоне 18,8—63 млн м<sup>3</sup>, среднегодовые значения солености воды в этот период изменялись в диапазоне 105—257,3 ‰. Причем более многоводным

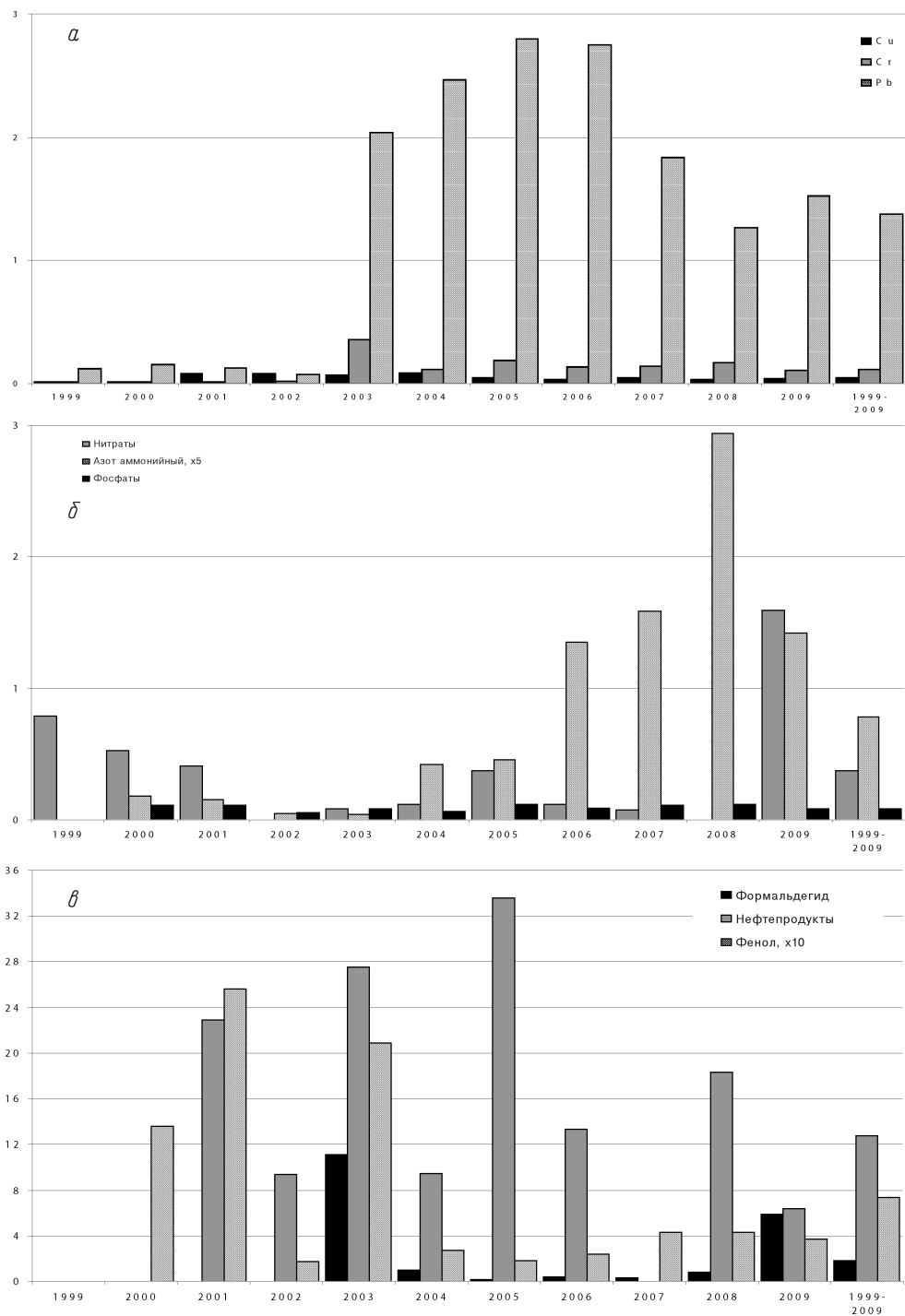


Рис. 2. Динамика среднегодовых изменений лимитирующих показателей загрязнения К<sub>л</sub> в период 1999—2009 гг. и их среднемноголетние значения (в долях ПДК)

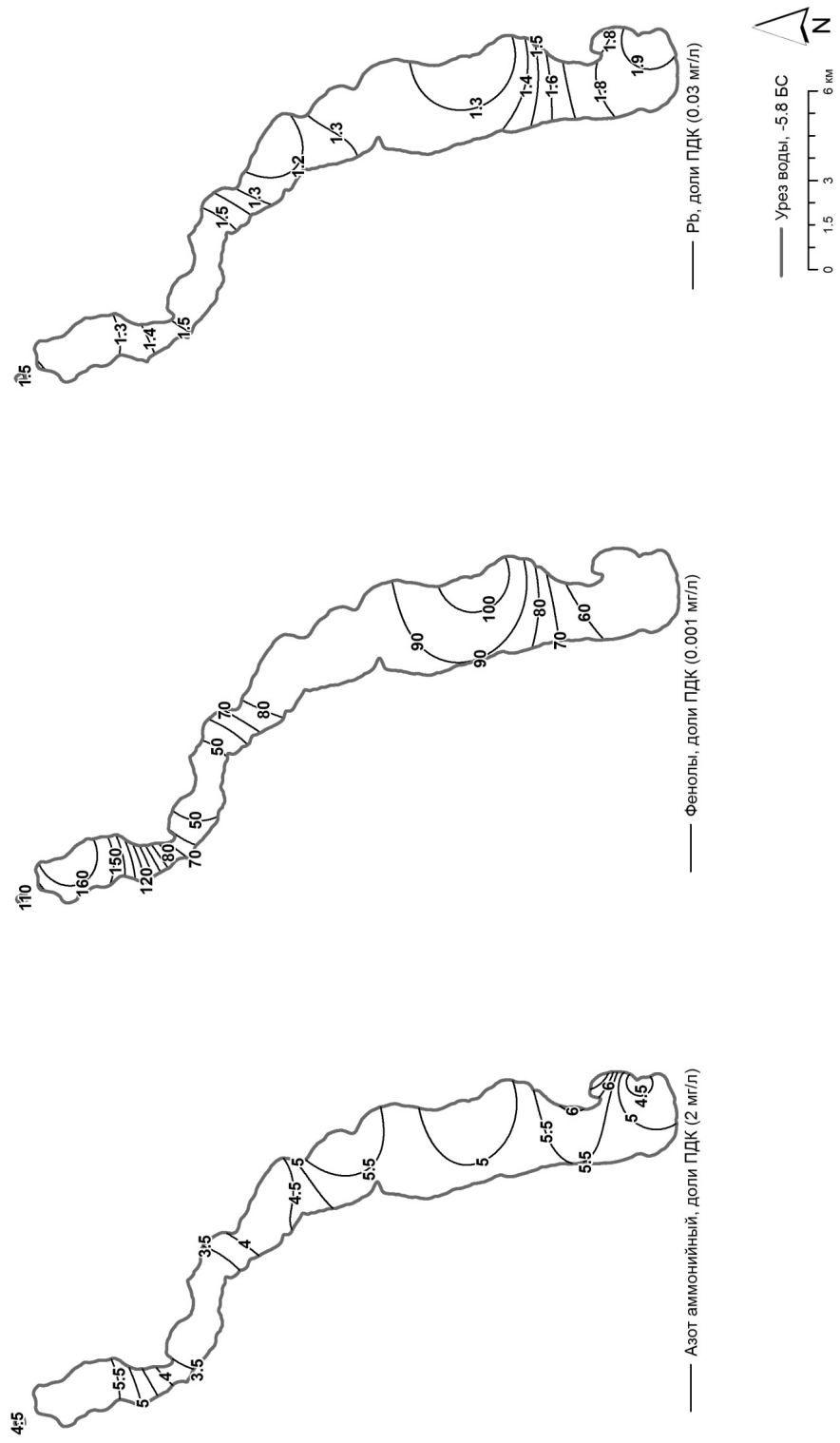


Рис. 3. Карты распределений основных загрязняющих веществ по акватории лимана (по среднелетним данным за 1999—2009 гг.)

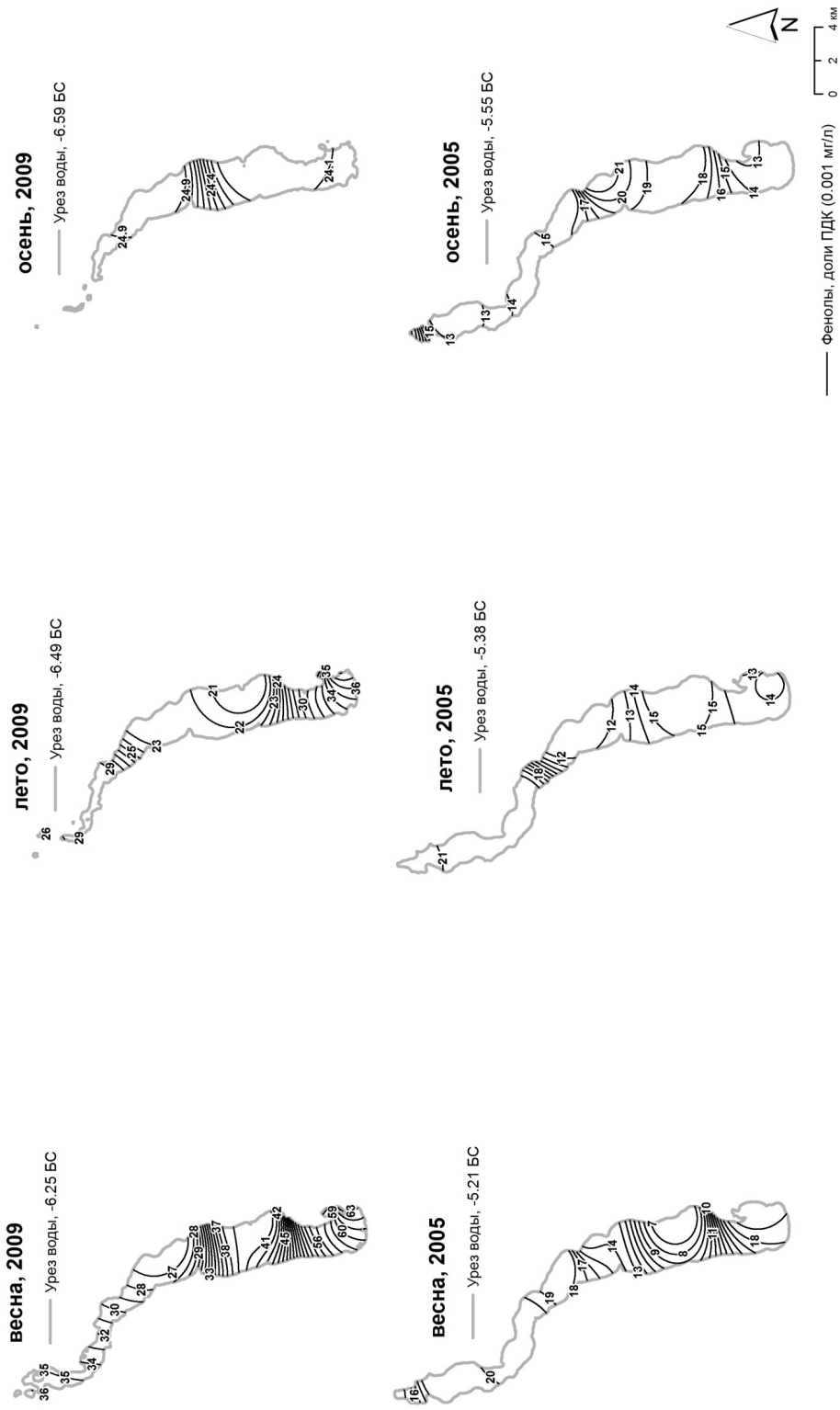


Рис. 4. Карты сезонных распределений летучих фенолов по акватории лимана в различные годы (2005 г. — 50,5 млн м<sup>3</sup>, 2009 г. — 18,8 млн м<sup>3</sup>)



был период с весны 2003 г. по осень 2006 г., среднегодовые значения солености при этом изменялись в диапазоне 105—129 ‰. Максимальные за период исследований среднегодовые значения солености характерны для 2001 г. (187 ‰), 2007—2009 гг. (199, 210 и 257 ‰, соответственно). В эти же годы фиксировались максимальные за вековой период значения солености — 336 ‰ (2001 г.), 347 ‰ (2007—2009 гг.).

Судя по данным гидрохимических исследований (рис. 2), наблюдаемые межгодовые различия в изменениях качества воды тесно связаны с гидрологическим режимом лимана, который характеризуется большой изменчивостью [4, 12]. Скачки повышенных содержаний всех лимитирующих показателей совпадают с периодами увеличения водности лимана и определяются поступлением их с талой водой за счет смыва с территории водосбора и оголенных участков дна лимана, например, в период весеннего половодья 2003 г. после засухи 1999—2001 гг. Достаточно четко прослеживаются межгодовые различия в изменениях органических соединений с изменениями солености воды. Максимальные значения органических токсиантов (фенолы, нефтепродукты, формальдегид) регистрируются при солености воды, превышающей 200 ‰ (2001 г., 2007—2009 гг.), что, вероятнее всего, связано со снижением интенсивности деятельности микроорганизмов, вследствие чего происходит торможение процессов биодеструкции. В качестве примера на рис. 4 приведено распределение летучих фенолов по акватории лимана в различные по водности годы: 2005 г. — соленость воды изменялась от 62,5 до 200 ‰, 2009 г. — от 198 до 347 ‰. Из представленных результатов видно, что максимум содержания летучих фенолов по сети всех станций наблюдений в акватории лимана регистрируется в 2009 г., отличающемся наибольшей соленостью воды. Аналогичная тенденция в распределении в зависимости от солености воды в Кл прослеживается для формальдегида и нефтепродуктов. Аномально высокие концентрации азота аммонийного регистрируются также в годы осолонения лимана, что связано с жизнедеятельностью аммонифицирующих бактерий.

Картографическая интерпретация результатов оценки уровня химического загрязнения воды Кл по основным лимитирующим показателям, представленная на картах-схемах рис. 3—4, указывает на места локального загрязнения, что позволяет выявить основные источники загрязнения. Так, ореолы повышенных концентраций летучих фенолов (рис. 3) фиксируются, в основном, на мелководье северной оконечности лимана и в южной части в районе водосбора из системы Корсунцовских прудов и прудов Пересыпи, местах сброса сточных вод из грязелечебницы курорта Куяльник. С увеличением водности года (рис. 4, 2005 г.) повышенные концентрации фенолов фиксируются также в центральной части в местах сброса поверхностных вод по руслам рек Долдока, Кубанка, балки с. Красноселка (см. рис. 1). Снижение концентрации фенолов наблюдалось в осенние периоды, что связано с понижением температуры и замедлением десорбции органических веществ из донных отложений. Максимальные концентрации свинца регистрируются в южной оконечности лимана, что совпадает с увеличением техногенной нагрузки в этом направлении вследствие интенсивного движения автотранспорта по окружной дороге, а также преимущественного поступления водотоков в центральную и южную части лимана.

Согласно полученным данным, вода Кл в соответствии с критериями оценки [13] по содержанию лимитирующих показателей токсических веществ изменялась в 2000—2009 гг.: по свинцу в пределах 3—5 классов



чистоты (от слабо загрязненной до грязной); по летучим фенолам — 3—4 классов чистоты (от слабо загрязненной до сильно загрязненной); по нефтепродуктам соответствовала 5 классу, разряду предельно грязных вод.

Комплексная оценка качества воды в лимане, проведенная по величине интегрального показателя уровня загрязнения ИЗВ (рис. 5), показала, что динамика изменения величины ИЗВ отражает ход изменения содержания основных гидрохимических показателей в исследуемый период. Максимальные значения ИЗВ характерны для 2003 г., когда с весенним паводком в акваторию лимана поступила водная масса, почти в два раза превышающая объем воды в лимане. С 2007 г. с повышением солености опять фиксируется рост ИЗВ.

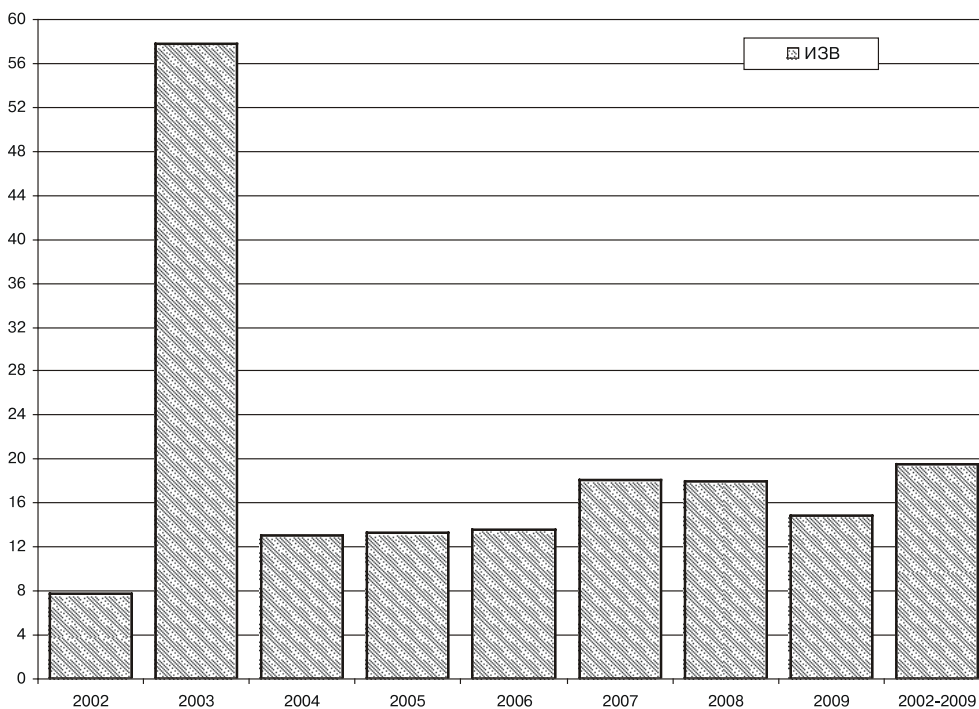


Рис. 5. Динамика ИЗВ Куяльницкого лимана в 2002—2009 гг. и среднемноголетняя за 2002—2009 гг.

По величине ИЗВ вода Кл (по среднемноголетним значениям) классифицируется как чрезвычайно грязная (7 класс), класс качества воды в течение 2002—2009 гг. изменяется от очень грязной (6 класс) до чрезвычайно грязной (7 класс). Пространственное распределение среднемноголетних за период исследований значений ИЗВ по акватории лимана показывает, что повышенные значения ИЗВ регистрируются также на участках южной части акватории лимана, наиболее подверженных антропогенному воздействию, и на мелководье северной оконечности лимана.

Полученные результаты свидетельствуют о том, что интегральный показатель ИЗВ можно использовать для определения общей картины экологического состояния водоема. Однако, учитывая рекреационную значимость Кл и использование его природных ресурсов в лечебных целях,

предпочтительнее проводить оценку качества вод по наиболее полному комплексу гидрохимических показателей.

Результаты комплексного мониторинга, проводимого ФХИЗОСич в бассейне Куяльницкого лимана, свидетельствуют о том, что при сохранении наметившейся в последние 3 года тенденции к обмелению и сильному осолонению лимана, процессы биодеструкции в этих условиях тормозятся, что значительно снижает способность воды Кл к самоочищению. Картирование уровня загрязнения акватории лимана по приоритетным для района исследований токсикантам показали, что с целью стабилизации состояния лимана территория водоохранной зоны Кл должна находиться под пристальным контролем природоохранных органов, четко должен соблюдаться контроль за выбросами загрязняющих веществ в атмосферу от стационарных источников промышленных объектов, расположенных в 2-км санитарно-защитной зоне лимана.

В целом, использование ГИС для оценки качества вод значительно упрощает работу с большим объемом материалов, позволяет проводить оперативный контроль текущего состояния, систематизацию, анализ и выборку данных, осуществлять пространственное картирование уровня загрязнения, выделять участки максимальных загрязнений и в итоге определять источники их поступления.

На базе данных комплексного мониторинга в бассейне Кл путем наращивания инструментария ГИС планируется создание структуры ГИС для оценки экологического состояния поверхностных вод в бассейне лимана.

Работа выполнялась в рамках госбюджетной темы «Комплексная экологическая оценка природного рекреационно-ресурсного потенциала бассейна Куяльницкого лимана».

### Литература

1. Вайсфельд Д. Н., Горчакова Г. А., Серебряна Л. А. Природные лечебные факторы Одесского курортного региона. — К.: Здоровье, 1991. — 141 с.
2. Брусиловский Е. М. Одесские лиманы и их лечебные средства. — Одесса—М.: Изд-во журн. «Терапевтическое обозрение», 1914. — 167 с.
3. Бабов К. Д., Никипелова Е. М., Табакман П. Е. Курортные ресурсы Одесского региона: современное состояние, степень использования // Тр. науч.-практ. конф. «Экологические проблемы Одесского региона и их решение». — Одесса, 1995. — С. 219—223.
4. Адобовский В. В., Шихалева Г. Н., Шурова Н. М. Современное состояние и экологические проблемы Куяльницкого лимана // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. — Севастополь, 2002. — Вып. 1, № 6. — С. 71—81.
5. Изучение динамики содержания биогенных компонентов в акватории Куяльницкого лимана / Г. Н. Шихалева, С. К. Бабинец, Т. Д. Редько и др. // Сб. Метеорология, климатология и гидрология. — 2004. — № 48. — С. 313—321.
6. Эннан А. А., Шихалева Г. Н., Бабинец С. К., Кирюшкина А. Н. Экологическое состояние природной среды лиманно-морского курортного комплекса «Куяльник—Лузановка» и водной экосистемы Куяльницкого лимана. Перспективы развития / Матеріали Всеукр. наук.-практ. конф. «Екологія міст та рекреаційних зон». — Одеса, 2009. — С. 216—221.
7. Шихалева Г. Н., Эннан А. А., Бабинец С. К., Чурсина О. Д. Влияние автотранспорта на состояние природной среды курортного комплекса «Куяльник—Лузановка» / Матеріали міжнар. наук.-практ. конф. «Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті». — Херсон, 2009. — Т. 5. — С. 58—59.
8. Детальная разведка и подсчет запасов иловых грязей Куяльницкого лимана / Отчет УкрНИИкурортологии. — Одесса, 1975.

9. Васильев А. С. Результаты исследования Куяльницкого лимана в топографическом отношении / Отчет о деятельности Одесского бальнеол. об-ва. — Одесса, 1898. — Вып. 5. — 20 с.

10. Временные методические указания по комплексной оценке качества поверхностных и морских вод по гидрохимическим показателям. — М., 1986. — 5 с.

11. Особенности ионно-солевого состава воды Куяльницкого лимана / А. А. Эннан, Г. Н. Шихалева, С. К. Бабинец и др. // Вісник ОНУ. Хімія. — 2006. — Т. 10, Вып. 1—2. — С. 51—58.

12. Современное гидроэкологическое состояние Куяльницкого лимана (Северо-Западное Причерноморье) / А. А. Эннан, Г. Н. Шихалева, В. В. Адобовский, С. К. Бабинец, О. Д. Чурсина // Матеріали міжнар. наук.-практ. конф. — Одеса, 2009. — С. 247—249.

13. Методика встановлення і використання екологічних нормативів якості поверхневих вод суші та естуаріїв України / В. Д. Романенко, В. М. Жукинський, О. П. Окснюк та ін. — К., 2001. — 48 с.

**А. А. Эннан, Г. М. Шихалева, А. В. Сізо, С. К. Бабінець**  
Фізико-хімічний інститут захисту навколишнього середовища  
та людини МОН і НАН України,  
вул. Преображенська, 3, Одеса, 65082, Україна

### **ОЦІНКА ЯКОСТІ ВОДИ КУЯЛЬНИЦЬКОГО ЛИМАНУ ЗА КОМПЛЕКСОМ ГІДРОХІМІЧНИХ ПОКАЗНИКІВ З ВИКОРИСТАННЯМ ГІС**

#### **Резюме**

В роботі наведена методика геоінформаційної (ГІС) оцінки рівня забруднення водойми за гідрохімічними показниками. Запропонована структура ГІС оцінки якості вод реалізована на базі програмного забезпечення ArcGIS ESRI. Методика апробована на результатах досліджень гідрохімічного режиму вод КЛ за період 1999—2009 рр. За даними аналізу побудовані карти рівня забруднення акваторії лиману за пріоритетними для району досліджень токсикантами органічної і неорганічної природи та величиною інтегрованого показника комплексної оцінки стану водойми — індексу забруднення води (ІЗВ). Картування дозволило виявити основні джерела надходження токсикантів у водойму, ділянки максимального забруднення.

**Ключові слова:** ГІС оцінка, вода, гідрохімічні показники, Куяльницький лиман.

**A. A. Ennan, G. N. Shikhaleeva, A. W. Sizo, S. K. Babinets**  
Institute of Physics and Chemistry for Environmental  
and Human Protection of National Academy of Science of Ukraine  
3 Preobrazhenskaya str., Odessa, 65082, Ukraine

### **USING GIS FOR WATER QUALITY ASSESSMENT OF KUYALNIK LIMAN, ON THE BASIS OF HYDRO CHEMICAL PARAMETERS**

#### **Summary**

The article shows the GIS methodology for the assessment of pollution level of the water body based on hydro chemical parameters. Proposed GIS scheme of water quality assessment was realized in ArcGIS ESRI environment. The scheme was applied on Kuyalnik Liman seasonal research data of hydrological water regime (1999—2009). There were made different kinds of pollution level maps of Kuyalnik Liman water area: maps of the first priority of the region organic and nonorganic pollutants and based on calculated integral index of pollution — water quality index. Obtained maps let to reveal main sources of pollutants income, its migration ways and accumulation.

**Key words:** GIS, water quality, Kuyalnik Liman, hydrochemistry.