

---

**О.П. Кравчук, В.П. Пунько, В.Н. Кадурич, И.А. Сучков**

Одесский национальный университет им. И.И.Мечникова

## **МЕТОДИЧЕСКАЯ ОСНОВА И КОНЦЕПТУАЛЬНАЯ СХЕМА ГЕОТОКСИКОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ МОРСКОЙ СРЕДЫ**

---

***Цель.** Изложение принципов комплексного анализа и концептуальной схемы геотоксикологических исследований морской среды.*

***Методика.** Опытные-методические работы по оценке геотоксикологической обстановки на опорных участках промышленно-городской агломерации и аграрных комплексов в районе Одессы.*

***Результаты.** Получены данные по содержанию в районах проведения исследования макроэлементов, микроэлементов и ультрамикроэлементов.*

***Научная новизна.** Сопряженное изучение геохимической обстановки и уровней биологической опасности загрязнения экосистем составляет двуединую задачу геотоксикологии, синтезирующей методологические принципы геохимии и токсикологии. В логическом сочетании обоснованных критериев оценок интенсивности техногенных изменений среды жизнеобитания формируется новый раздел биогеохимии.*

***Практическая значимость.** Предлагается выполнение токсикологического контроля экологической обстановки на базе биотестирования, обеспечивающего интегральную оценку состояния среды. При этом определяется конкретная региональная привязка уровней устойчивости жизненно важных функций и выживаемости индикаторных групп организмов.*

***Ключевые слова:** морская среда, донные осадки, геотоксикологические исследования.*

Изучение взаимодействия геологической среды и экологических систем на междисциплинарном уровне выделяет геотоксикологию как принципиально новое научное направление, обеспечивающее комплексную оценку условий и влияний гетерогенной природы. Возможности практического использования предлагаемой технологии обработки аналитических данных апробировались на протяжении ряда лет в различных регионах, что способствовало выбору оптимальной и эффективной схемы контроля экологических нарушений.

Первые попытки комплексного анализа взаимосвязи геологической среды и условий жизнеобитания человека в Северо-Западном Причерноморье были предприняты в 1990 году в рамках Ассоциации науки и инжиниринга ФИП ЦЭНДИСИ при Академии наук СССР. На этом этапе был разработан Кадастр медико-геологических аномалий на территории Одесской области (Носы-

© О.П. КРАВЧУК, В.П. ПУНЬКО, В.Н. КАДУРИЧ, И.А. СУЧКОВ, 2017

рев М.В., Кадурич В.Н., Пунько В.П. и др.). С учетом геологических факторов охарактеризована локализация отдельных видов заболеваемости по районам и динамика их во времени с 1985 по 1990 год. Выявлены структурно-геологические, геофизические, ландшафтно-геологические и гидрогеохимические аномалии с включением зон техногенного происхождения (зоны загрязнения ядохимикатами, удобрениями и пр). Выделены главные аномалии и зоны медико-геологического поражения. Однако дальнейшая детализация картируемых признаков ограничивается недостаточной сопоставимостью двух информационных полей, формирующихся на разной основе и имеющих сугубо статистический характер.

Установление функциональной зависимости экологической обстановки от состояния геологической среды конкретизируется с помощью связующего информационного звена, включающего, например, биотестирование в практике геотоксикологических исследований. При этом немаловажную роль играет синхронизм рассматриваемых явлений, что достигается посредством единой сети опробования и сопряженного анализа фактического материала. Наличие четкой пространственной и временной привязки тест-объектов обеспечивает адекватность изучаемых биологических реакций конкретному соотношению абиотических параметров среды.

Общие принципы геотоксикологической съемки отработывали при изучении закономерностей современного седиментогенеза на опорных участках Аральского моря. Полевые работы выполнены осенью 1991 года в составе Аральской морской партии ВСЕГЕИ. Пробы отбирали в основном с вертолета МИ-8 гравитационной грунтовой трубкой типа ГОИН и дночерпателем ДЧ-25. Один из участков располагался в устье реки Сырдарья, при ее впадении в Малое море, образовавшееся после осушки и отделения от основного – Большого моря (полигон ПТ-1). Опробование на акватории Большого моря производили у южной оконечности острова Барсакельмес (полигон ПТ-2).

Сокращение притока пресных вод, высокие скорости испарения и уменьшение водного объема обусловили трансформацию процессов литодинамики в бассейне Аральского моря. Изменения заключаются в формировании практически повсеместно зоны нулевой седиментации и соответственно возрастающей абразии морского дна. В условиях аридизации климата развивается естественное концентрирование и переход в осадок солей, достигших предела насыщения в водной толще. На этом фоне происходит интенсивное накопление аутигенных минеральных фаз, прежде всего гипса, содержание которых достигает 70% в поверхностном горизонте донных отложений.

Преобразование источников питания и режима седиментации согласуется с неоднородным распределением биотестовых показателей в осадочной толще. Максимальная степень поражения экосистемы фиксируется на площади Большого моря. Кроме того, характерная тенденция процесса – смещение повышенных уровней токсичности в нижние горизонты разреза осадков. Сложившаяся обстановка свидетельствует о необходимости постановки задач по предотвращению нарушений экосистемы морского бассейна и прилегающих территорий. К сожалению, изучение Аральского моря приостановлено, и многие проблемы региональной геотоксикологии не освещены.

Целенаправленные опытно-методические работы по оценке геотоксикологической обстановки на опорных участках промышленно-городской агломерации и аграрных комплексов в районе Одессы проведены в соответствии с про-

граммой, утвержденной Постановлением коллегии Госкомгеологии Украины от 14 января 1992 г., а также решением Главного управления гидрогеологических работ и геоэкологии Госкомгеологии Украины от 20 января 1992 года.

Исследования в районе г. Одесса имели постановочный характер и предназначались для выявления рационального аналитического комплекса с учетом геотоксикологической специализации объектов. С этой целью для шести полигонов накоплен обширный и многоплановый фактический материал, отражающий динамику процессов как в море, так и на суше:

- ПТ-3 – донные осадки Одесского залива и прилегающей акватории;
- ПТ-4 – сельскохозяйственные угодья в районе сел Усатово и Нерубайское;
- ПТ-5 – почвенный покров в районе улицы Балковской, г. Одесса;
- ПТ-6 – поверхностные воды г. Одесса;
- ПТ-7 – морские воды и подземные воды прибрежной зоны г. Одесса;
- ПТ-8 – почвенный покров г. Одесса.

В разрабатываемой концептуальной схеме оперативного контроля техногенных изменений геологической среды выделяется ряд позиций, связанных с постановкой последующих режимных наблюдений:

1. Характеристика субстрата развивающихся процессов включает определение литолого-геохимических особенностей состава и свойств осадочного покрова, выявление резерва токсичности аномалий и других источников возмущающих факторов;

2. Объективное обнаружение токсических эффектов и оценка интенсивности их проявления на основе биотестирования, оконтуривание полей повышенной токсичности (зон токсического риска);

3. Трассирование техногенных ореолов и потоков рассеяния от источников геохимических аномалий до зон повышенной токсичности;

4. Оценка влияния геолого-геоморфологических и геохимических процессов на техногенную трансформацию среды;

5. Прогноз экологических нарушений и разработка рекомендаций по организации геотоксикологического мониторинга.

На завершающих стадиях работ создаются предпосылки построения геотоксикологической карты, отражающей взаимоотношение ареалов резерва токсичности и зон токсического риска. Более высокий уровень обобщений связан с созданием новых геохимических технологий, оптимизирующих параметры изучаемой экосистемы.

### **Методологические аспекты геотоксикологии**

Хозяйственная деятельность человека в XX столетии охватила всю биосферу, развитие коммуникаций нарушило разобщенность населения планеты, и в своем единстве человечество выступило в качестве крупнейшей геологической силы.

В. И. Вернадский (1944) рассматривал этот процесс как новый этап эволюции биосферы – появление ноосферы (сферы разума), формирование которой связано не с биологической, а с производственной функцией человека.

Важнейшая геохимическая особенность ноосферы – массовое появление несвойственных природной обстановке веществ, выделяемых сознательно – в виде необходимых продуктов, или сбрасываемых бесконтрольно – в виде отходов. При

этом развивается новый вид миграции атомов, физически и химически преобразующий лик планеты.

При имеющейся в настоящее время технологии от 10 до 99% исходной массы сырья превращается в отходы, которые сбрасываются на сушу, в атмосферу или водоемы. Общий объем производимой продукции удваивается каждые 15 лет, и в дальнейшем предполагается сокращение этого срока. Возрастает и количество отходов (Мелешкин, Степанов, 1980).

Совокупность химических и физических процессов, производимых деятельностью человека и приводящих к перераспределению химических масс земной коры, А.Е.Ферсман (1955) предложил называть техногенезом. Особое внимание обращено на то, что распыляемое, накапливаемое и перемещаемое вещество оказывается в совершенно новых геохимических условиях миграции. На основании анализа конкретных вариантов взаимодействия человека и природы был сделан вывод о том, что преобладающая тенденция в техногенезе на современном этапе – рассеяние добываемого сырья, интенсивность которого существенно превышает природные процессы. Показателем уровня потребления химических элементов в хозяйственной сфере является технофильность, определяемая А.И. Перельманом (1976) как отношение тоннажа годового производства к значению кларка элемента. Наиболее технофильные элементы, производимые в количестве тысяч и десятков тысяч тонн, при поступлении в биосферу перегружают ее, ограничивая возможности физиологического приспособления организмов к быстро изменяющимся условиям.

К важнейшим геохимическим последствиям техногенеза относится формирование нехарактерных для природных условий техногенных аномалий. Как правило, преобладающее распространение имеют аномалии химических элементов повышенной технофильности (углерод, свинец, медь, цинк, ртуть, кадмий, сера). Установление экологической значимости техногенных аномалий возможно на основе объективных представлений о характере взаимодействия живого вещества с окружающей средой. Адаптационные способности и состав организмов находятся в соответствии с эволюционно сложившимся химическим окружением. В живом веществе преобладают элементы с высокими кларками, образующие водорастворимые соединения. Низкокларковые элементы фиксируются в системах, обеспечивающих обмен веществ, – наиболее чувствительных к изменению концентраций. Отклонение от естественных диапазонов содержания микроэлементов вызывает нарушение регуляторных функций организмов. По этой причине элементы с высокими атомными числами обычно входят в состав токсических соединений (Ковальский, 1968).

Последнее обстоятельство привело к заимствованию из технической литературы термина “тяжелые металлы”, объединяющего группу элементов с плотностью более  $5 \text{ г/см}^3$ , воспринимаемой как признак токсичности. Попытка уточненного обособления тяжелых металлов по атомной массе более 40 (Алексеев, 1987) также не конкретизирует биологическую роль потенциальных токсикантов. Исключение составляют ртуть, кадмий и свинец, накопление которых в среде обитания однозначно сопровождается негативными последствиями.

Группировка химических элементов по экологической значимости несколько уточняется при учете степени распространенности в живом веществе:

- макроэлементы – содержание обычно превышает 1 %,
- микроэлементы – сотые и тысячные доли процента,

**Пороговые концентрации металлов в почвах и возможные реакции живых организмов (Ковальский, 1976)**

Элемент	Содержание мк/кг				
	Норма	Недостаточные		Избыточные	
Кобальт	7-30	2-7	Акобальтозы, анемия, гипо- и авитаминозы В12; усиление эндемического зоба	более 30	Угнетение синтеза В12
Медь	15-60	до 6-15	Анемия, болезни костной системы, эндемическая атаксия при избытке Мо и сульфатов. Суховершинность плодовых деревьев, полегание злаков	более 60	Анемия, гемолитическая желтуха, поражение печени. Хлорозы растения
Марганец	400-3000	до 400	Зоболечение костной системы, возможно усиление зоба. Хлороз и некроз растений, пятнистая желтуха свеклы	более 3000	Заболевание костной системы. На кислых почвах возможно токсичное действия на растения
Молибден	1,5-4	до 1,5	Заболевание растений	более 4	Нарушение пуринового обмена человека
Цинк	30-70	до 30	Паракератоз свиней, у растений хлороз, мелколиственность	более 70	Возможна анемия, угнетения окислительных процессов
Стронций	до 600	до 30	Не установлено	600 – 1000	Хондро- и остео дистрофия, урорская болезнь, рахиты, ломкость ногтей

– ультрамикроэлементы – десятитысячные и менее доли процента.

Макроэлементы составляют структурную основу живого вещества, образуя молекулы белков, жиров, углеводов.

Микроэлементы играют катализирующую роль в синтезе основных органических соединений, но обычно не входят в них. Они характерны для состава биологически активных веществ (ферментов, витаминов и др.). Потребности организма ограничиваются определенным количеством микроэлементов, поэтому при их недостатке или избытке возникают нарушения обмена веществ.

Ультрамикроэлементы отличаются крайне узким интервалом концентраций, обеспечивающих оптимальное воздействие на обмен веществ. Позитивные эффекты, проявляющиеся в активизации развития организма, обусловлены не столько биологической необходимостью, сколько стимулирующей интоксикацией. Снижение концентраций этой группы элементов не имеет функционального значения, но даже небольшое превышение границ потребности сопровождается токсическими эффектами (Алексеев, 1987).

Нарушение микроэлементного состава воздействует на состояние систем жизнеобеспечения, в которых проявляются алергенные, мутагенные, тератогенные, эмбриотоксические, гонадотропные и другие свойства, опасные по текущим и отдаленным последствиям.

Как отмечает Р.Брукс, чтобы понять роль микроэлементов в окружающей среде, следует изучить механизм их распределения в земной коре. В частности, при характеристике геохимических процессов для природных обстановок выделяются гипогенная (эндогенная) и супергенная (экзогенная) миграции вещества. Перераспределение элементов в результате жизнедеятельности человека отнесено к третичной миграции, что фактически соответствует третьему ряду биогенной миграции атомов по В.И. Вернадскому (1987).

Внимание к проблеме загрязнения среды жизнеобитания обусловлено не теоретическими обобщениями, а связано с практическим решением задач преодоления возникающих отрицательных реакций (Геохимия окружающей среды, 1990):

- нарушение состояния здоровья населения, рост заболеваемости, инвалидности;

- эпизодические случаи отравления и гибели людей;

- массовые случаи гибели гидробионтов в водоемах;

- непригодность по химическому составу многих водоемных источников для питьевого и технического водоснабжения, рыбохозяйственных и рекреационных целей;

- невозможность проведения тонких технологических операций из-за загрязнения воздуха.

Рассмотренные позиции со всей очевидностью отражают оптимальность понятийного аппарата и методологических принципов геохимии в определении природоохранных мероприятий, направленных на обеспечение действенного контроля качества и регулирование химического окружения человека.

Недооценка или подмена основных положений геохимических знаний приводит к терминологической неразберихе и неправомерному обособлению геологической роли человека в единой системе геосфер Земли. Вульгаризация представлений, развивающихся на стыке многих наук, в практическом плане осложняет поиск рациональных решений по регламентации и нормированию техногенных воздействий, порождает множество неадекватных оценок качества среды. Основная причина методологической несовместимости систем контроля кроется в сохраняющейся ведомственной разобщенности природоохранных служб.

С другой стороны, попытки унификации анализа средообразующих компонентов сопровождаются механическим перенесением концептуальных подходов, неприемлемых для объектов смежных наук. Как отмечено (Геохимия окружающей среды, 1990), традиционная система наблюдений за окружающей средой основана на динамическом изучении загрязнителей по сравнительно редкой сети и

математическом моделировании распространения токсикантов. Эта методика, наследуя концепции гидрометеорологии, применима для прогноза глобальных и региональных кризисных ситуаций, но не оправдывается при анализе локальных явлений с мозаичной структурой распределения источников вредных воздействий, требующих иных масштабов контроля. Аналогичные причины, обусловленные различными масштабами изменчивости, ограничивают унификацию нормирования токсикантов в различных объектах.

Для усиления экологической значимости геохимических данных часто используются оценки уровней предельно допустимых концентраций (ПДК). Принципиальное отличие получаемых параметров от биогеохимических данных заключается в том, что они относятся к реакциям определенных групп организмов, а не к среде их обитания.

Установление единых стандартов качества среды вероятно лишь для обстановки прямого поступления вещества в организм (атмосферный воздух, пищевые продукты, питьевая вода). В результате формального использования значений ПДК маскируется оценка реальной геохимической обстановки. Полученные тонкими аналитическими методами величины содержаний подменяются весьма абстрактными числами, удовлетворяющими преимущественно ведомственные интересы. Достаточно упомянуть перечень ПДК рыбохозяйственных водоемов, имеющий хождение как для пресных, так и морских вод. Типична ситуация, когда исследователи, сознавая нереальность универсальных ПДК в почвах, привлекают эти числа для оценки загрязнения морских отложений. Подобные решения провоцируются методическим несовершенством принципа токсикологического нормирования загрязнителей по важнейшим позициям: неоднозначной адекватности ПДК конкретной природной обстановке и неоднозначной эффективности, когда перечень нормируемых ингредиентов не соответствует возможностям аналитических измерений.

Таким образом, изучение техногенного воздействия на средообразующие компоненты в гетерогенных системах становится возможным лишь на комплексной основе, обеспечивающей как выявление действующих механизмов миграции, так и оценку биологических последствий развивающихся нарушений. Сопряженное изучение геохимической обстановки и уровней биологической опасности загрязнения экосистем составляет двуединую задачу геотоксикологии, синтезирующей методологические принципы геохимии и токсикологии. В логическом сочетании обоснованных критериев оценок интенсивности техногенных изменений среды жизнеобитания формируется, по мнению авторов, новый раздел биогеохимии.

### **Концептуальная схема геотоксикологических исследований**

В комплексе геотоксикологических исследований выделяется приоритетность геологического подхода к оценке качества среды жизнеобитания, анализу пространственно-временных закономерностей миграции вещества и трансформации физических полей в современных условиях. Геотоксикологические исследования включают различные варианты оперативного контроля изменений окружающей среды, составляющие три основные направления программы работ.

1. Методика биогеохимических исследований применяется для выявления техногенных аномалий, потенциальных источников загрязнения и условий концентрирования токсикантов.

2. Методика биотестирования существенно восполняет недостаточность перечня анализируемых веществ, обеспечивая объективное обнаружение токсических эффектов и оценку интенсивности их проявления.

3. Анализ сопряженности техногенных аномалий и полей токсического риска является узловым моментом диагностики состояния среды. С учетом устанавливаемых связей уточняется перечень загрязняющих ингредиентов, характеризуются их источники, форма нахождения, пути миграции и степень биологической опасности.

Комплексное изучение геологической среды как субстрата развивающихся техногенных изменений охватывает:

– определение литолого-геохимических особенностей состава и свойств осадочного покрова;

– трассирование техногенных ореолов и потоков рассеяния от источников геохимических аномалий до зон повышенной токсичности;

– оценку влияния геолого-геоморфологических и геохимических процессов на техногенную трансформацию среды жизнеобитания;

– прогноз динамики техногенных нарушений, разработку рекомендаций, организацию геотоксикологического мониторинга.

В обобщенном виде эти позиции отражаются при построении геотоксикологической карты, на которой выделяются техногенные аномалии (резерв токсичности) и поля повышенной токсичности (зоны экологического риска).

Принципиальное отличие рассматриваемой схемы от других методик заключается в обнаружении как источников загрязнения, так и их последствий, которые могут быть пространственно разобщены.

Биогеохимический контроль экологической ситуации имеет наиболее полное методическое обоснование, так как базируется на принципах выделения геохимических аномалий и обширном опыте проведения поисково-съёмочных работ, которыми располагает геологическая служба. Посредством единой методики определяются сложившиеся уровни химического окружения и отклонения от них, вызванные техногенными аномалиями. Основной объём аналитических данных составляют измерения валовых содержаний химических элементов (атомная абсорбция, рентген-флуоресцентный и др. методы). В перечень изучаемых компонентов включается также  $\text{CaCO}_3$  и органическое вещество. Оценка параметров геохимического фона и минимально аномальных содержаний элемента производится на заведомо незагрязненной площади, выделяемой в настоящее время, или при ревизии материалов кондиционной съёмки, проведенной до хозяйственного освоения данной территории.

В соответствии с законом толерантности В. Шелфорда, лимитирующим показателем процветания организма является минимум или максимум экологического фактора, определяющий диапазон выносливости организма к данному фактору. Следовательно, сложившийся уровень геохимического фона соответствует оптимальному режиму жизнеобитания, а наличие аномальных зон свидетельствует о превышении порога толерантности.

Определение порогов толерантности наиболее оправдано при проведении гидрохимических съёмок, оперирующих с наиболее подвижными формами хи-

мических элементов. В частности, проведенные С.А. Патиным (1979) исследования морской среды, подтверждают неблагоприятные последствия при повышении концентраций элементов за пределы фонового уровня:  $L=C+2S$ , где  $L$  – порог толерантности,  $C$  – среднее содержание металла,  $S$  – стандартное отклонение.

Литологическая съемка, оперируя с валовыми содержаниями элементов, обеспечивает обнаружение техногенных аномалий первого (ореолы) и второго (поток рассеяния) удаления от источников загрязнения. Для оценки экологического риска целесообразно расширение комплекса аналитических работ с определением подвижных, реакционно-способных форм нахождения элементов. Оперативный контроль развития загрязнения и его специализации осуществляется с помощью кларков концентрации или значений геофонов элементов. Преобразование содержаний в относительные величины упрощает поиск интегральных показателей экологического риска. В частности, сумма кларков концентрации потенциальных загрязнителей морских отложений характеризует изменение качества среды при совместном действии нескольких факторов (Кравчук, 1982). На основе кларковых содержаний предложена оценка степени загрязнения почв: слабо загрязненные почвы содержат 2–10 кларков элемента, средне загрязненные – от 10 до 30 кларков, сильно загрязненные – более 30 кларков.

Разграничение компонентов по условиям концентрирования проводится с помощью корреляционного и факторного анализов. Первоочередное внимание уделяется химическим элементам, подверженным влиянию нескольких факторов. Тенденция к смене состояния аргументируется повышенной миграционной способностью соединений или разнообразием источников поступления. Последствия многофакторного влияния на содержание потенциальных токсикантов прослеживается также по многократному превышению кларкового уровня. Подобная степень накопления для других групп элементов обычно не отмечается.

Для выявленного перечня загрязняющих компонентов оцениваются условия совместной миграции и особенности пространственного распределения. В простейшем случае изменчивость состава отдельных проб характеризуется суммой кларков концентрации (КК) наиболее мобильных элементов с надкларковым уровнем местного фона. С помощью коэффициента накопления (суммы КК) на геотоксикологической карте выделяются поля аккумуляции загрязнения. Вклад отдельных элементов в суммарный эффект загрязнения фиксируется индексами для каждой точки опробования.

Токсикологический контроль экологической обстановки сформирован на базе биотестирования, обеспечивающего интегральную оценку состояния среды. При этом определяется конкретная региональная привязка уровней устойчивости жизненно важных функций и выживаемости индикаторных групп организмов. Для ситуации биологических нарушений осуществляется поиск действующих факторов и оценка степени их воздействия. В качестве критериев токсичности используются различные биологические и физиолого-биохимические показатели, выполняющие роль индикаторов при нарушениях биогеохимического оптимума среды жизнеобитания. Например, при геотоксикологической съемке г. Одесса и прилегающей акватории Черного моря применены биотесты с оценкой:

- жизнеспособности микроорганизмов (общесанитарный показатель);
- метаболической активности микроорганизмов;
- энзиматических реакций в среде обитания человека;

– хемотаксиса инфузорий.

На данном этапе работ сохранена формализованная система бального исчисления показателей токсичности, соответствующая пяти уровням опасности. В качестве интегрального показателя использована сумма баллов не менее четырех независимых биотестов. В упрощенном варианте для отдельных объектов возможно применение только хемотоксической реакции, наиболее контрастно отражающей поведенческий отклик на токсичность среды. Изменчивость токсикологических показателей характеризуется изолиниями на геотоксикологической карте.

Сложность расшифровки причин изменения состояния живых организмов обусловлена совокупностью проявлений природных и техногенных процессов:

- неоднородностью геологического строения и преобразований ландшафта;
- влиянием геофизических полей и их техногенной трансформации;
- наличием техногенных аномалий, связанных с химическим загрязнением.

Следовательно, для выделения доминирующих агентов в зонах экологического риска необходимо комплексное рассмотрение доступного объема геологической, геофизической и геохимической информации. В противном случае, речь пойдет о “болезни без диагноза”.

Реализация полной программы биотестирования обеспечивает итоговое заключение по следующим позициям (Захаров, Кларк, 1993):

1. Характеристика качества среды, включающая

- оценку степени отклонений от нормы и фонового состояния;
- оконтуривание зоны ощутимых последствий.

2. Оценка благоприятности среды для человека по показателям:

- общего физиологического состояния;
- иммунного статуса (устойчивости организма к неблагоприятным воздействиям);

- мутагенного (опасность для наследственности) эффекта;

- канцерогенного эффекта;

- тератогенного (опасность морфологических отклонений, уродств) эффекта.

При наложении полей аккумуляции загрязнения и полей токсичности на единую топооснову обычно прослеживается пространственное разобщение картируемых признаков. В непосредственной близости от источников загрязнения формируется резерв токсичности, подпитывающий сопредельные территории.

В связи с этим, основная задача завершающего этапа заключается в выявлении действующих агентов экологических нарушений. Миграционноспособная составляющая природных объектов обнаруживается на этапе статистической обработки аналитических данных (факторный анализ). Предварительные выводы о форме нахождения ингредиентов уточняются проведением химического фазового анализа (выделение водорастворимых, сорбированных и кристаллических фаз по стандартным методикам).

Учитывая соотношение химической нагрузки фаз, целесообразно выборочное изучение наиболее активных концентратов токсикантов. Для этой цели производится фракционирование размерных классов вещества, сепарация минеральных компонентов (глинистая составляющая, карбонаты, аутигенные сульфиды и др.). Развитие сорбционных взаимодействий и изоморфных замещений анализируется минералогическими и химическими методами.

В частности, для водных объектов техногенная нагрузка проявляется в изменении условий обитания гидробионтов, нарушении сложившегося качественно-

го и численного соотношения планктонных и бентосных сообществ. Вероятность этих событий может отразиться на составе биогенных карбонатов, активизации полиструктурного сульфидообразования при аноксии, дополнительном притоке коллоидного и глинистого вещества.

Практически не реализованы возможности геотоксикологии, связанные с изучением патологического минералогенеза в человеческом организме. Для северо-западного Причерноморья становится актуальной проблема региональной специфики оксалатообразования, которое развивается при прямой кристаллизации на фоне устойчивых нарушений водно-солевого обмена, то есть предполагает связь с качеством питьевой воды.

### **Заключение**

Развитие геотоксикологической обстановки в северо-западной шельфовой области Черного моря согласуется с представлениями о фракционировании и зональном распределении вещества в осадочной толще прибрежной зоны.

Основной миграционный поток природных и техногенных сорбентов направлен по нормали к береговой линии к границам неволнового поля. Сепарация материала псефито-псаммитовой размерности обеспечивается при вдольбереговом перемещении наносов в пределах динамических систем нескольких порядков. Общие закономерности седиментационного процесса разграничиваются в соответствии с латеральным положением терригенно-минералогических провинций.

К конкурирующим факторам миграции относится техногенное воздействие, изменяющее и регламентирующее распределение вещества в водной толще и донных осадках. Инженерные мероприятия при освоении приморских территорий, как правило, планируются для снижения гидродинамической активности в береговой зоне. Последствия нарушенной циркуляции вод связаны с сужением гранулометрического спектра седиментационного материала, аккумуляцией пелитовых осадков и повышенной неоднородностью диагенетических процессов в полужамкнутых акваториях. В частности, создаются предпосылки перераспределения вещества при активизации восстановительного режима осадконакопления.

Для последующей разработки унифицированной системы геотоксикологической оценки морской среды за основу принимаются принципиальные положения классификации зон сапробности Кольквитца-Марссона. Геохимическая роль полисапробной зоны определяется формированием сероводородного восстановительного барьера, локализуемого у границы “вода-осадок” или смещенного в толщу придонных вод. Индикаторное значение в этих условиях имеет массовое проявление аутигенного сульфидообразования. При разбавлении органической составляющей терригенным материалом в мезосапробной зоне сульфидообразование смещается в нижние горизонты осадков и приобретает очаговый характер. Своеобразный кислородный барьерный контур зон высокой сапробности блокирует миграцию подвижных компонентов. К важнейшим показателям смены обстановок относится градиент концентраций марганца. Контрастное накопление оксидов и гидроксидов марганца характерно для геохимического контура загрязненной площади.

Особое внимание к проблеме аутигенного минералообразования связано с перспективами разработки геохимических технологий, нейтрализующих загряз-

няющие компоненты или ограничивающих их распространение. Пути реализации этого направления исследовательской программы аргументируются выявленными закономерностями иммобилизации вещества в твердой фазе, развивающейся унаследованно по принципу кристаллизации через псевдоморфизацию.

При оценке эффективности аналитического комплекса, наряду с определением уровней накопления отдельных компонентов, рассмотрены закономерности процессов, контролирующих поведение различных металлов и ксенобиотиков в морской среде. Применительно к условиям региона установлены характерные парагенетические и парастерические связи ингредиентов, участвующих в формировании потоков загрязнения. Для разграничения признаков использована методика корреляционного, факторного и кластерного анализов, упрощающих поиск интегральных показателей состава и свойств осадков. В частности, различные варианты кластеризации обеспечивают иерархическую группировку как комплекса анализируемых компонентов (тяжелых металлов и других ксенобиотиков), так и совокупности объектов (пунктов опробования).

Несовершенство и условность относительных оценок токсичности в признаковом пространстве морских осадков прослеживается по обособлению этих характеристик от большей части абиотических показателей среды. Дело в том, что действие внешнего раздражения для отдельных биотестовых систем организмов проявляется не последовательно, а сопровождается сложным сочетанием токсической стимуляции и различных уровней ингибирования ответных реакций в соответствии со степенью экологических нарушений. Нелинейное проявление токсичности некоторых ксенобиотиков (атразин) описывается уравнением гиперболы, когда химическое окружение однозначно подавляет механизмы жизнедеятельности организмов. В других случаях реакция тест-систем приобретает более сложный характер и соответствует графику вида параболы (полихлорированные бифенилы) или полинома третьей степени (фенол). Подобные зависимости обнаруживаются при анализе систем репарации повреждений клеток, затрагивающих структуру ДНК. Наличие функциональной связи между составом осадков и откликом биотестовых систем открывает возможности создания качественно новой геотоксикологической шкалы оценок состояния среды.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алексеев Ю.И. Тяжелые металлы в почвах и растениях. Л.: Агропромиздат. 1987. 142 с.
2. Вернадский В.И. Несколько слов о ноосфере. Успехи современной биологии. 1944. **18**. № 2. С. 113–120.
3. Геология шельфа УССР. История и методика изучения. Киев: Наук. думка. 1982. 180 с.
4. Геохимия окружающей среды. М.:Недра. 1990. 335 с.
5. Захаров В.М., Кларк Д.М. Биотест. М.: РАН. 1993. 68 с.
6. Ищенко Л.В. Закономерности распределения терригенных компонентов донных отложений верхней части северо-западного шельфа Черного моря. Одесса. ОГУ. 1972. 26 с.
6. Носырев М.В., Кадурич В.Н., Пунько В.П. и др. Кадастры и атлас карт медико-геологических аномалий на территории Одесской области. Одесса. 1991. 175 с.
7. Ковальский В.Э. Геохимическая экология. М.: Недра. 1968. 328 с.
8. Кравчук О.П. Особенности литогенеза и микроэлементы донных осадков Азовского моря в связи с охраной среды. Одесса. ОГУ. 1982. 26 с.
9. Мелешкин М.Т., Степанов В.К. Промышленные отходы и окружающая среда. Київ: Наук. думка. 1980. 179 с.
9. Митропольский А.Ю., Безборов А.А., Овсяный Е.И. Геохимия Черного моря. Київ: Наук. думка. 1982. 144 с.

10. Митропольський О.Ю., Наседкін Є.І., Осокіна Н.П. Екогеохімія Чорного моря. Київ. 2006. 277 с.
11. Патин С.А. Влияние загрязнения на биологические ресурсы и продуктивность Мирового океана. М: Пищевая пром. 1979. 305 с.
12. Перельман А.И. Геохимия эпигенетических процессов. М.: Недра. 1968. 331 с.
13. Перельман А.И. Геохимия. М.: Высшая школа, 1979. 423 с.
14. Поротов Г.С. Основы статистической обработки материалов разведки месторождений. Л: Горный ин-т. 1985. 98 с.
15. Ферсман А.Е. Избранные труды. М.: АН СССР. 1955. 795. 65 с.
16. Физико-механические свойства донных осадков Черного моря. Київ: Наук. думка. 1981. 204 с.
17. Шнюков Е.Ф. Геология шельфа УССР. Среда. История и методика изучения. Київ: Наук. думка. 1982. 175 с.

Статья поступила 07.02.2017

*О.П. Кравчук В.П. Пунько, В.Н. Кадурин, І.О.Сучков*

#### МЕТОДИЧНА ОСНОВА ТА КОНЦЕПТУАЛЬНА СХЕМА ГЕОТОКСИКОЛОГІЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ МОРСЬКОГО СЕРЕДОВИЩА

**Мета.** Виклад принципів комплексного аналізу та концептуальної схеми геотоксикологічних досліджень морського середовища.

**Методика.** Дослідно-методичні роботи з оцінки геотоксикологічної обстановки на опорних ділянках промислово-міської агломерації та аграрних комплексів в районі Одеси.

**Результати.** Отримано дані щодо вмісту в районах проведення дослідження макроелементів, мікроелементів і ультрамікроелементів.

**Наукова новизна.** Поєднане вивчення геохімічної обстановки і рівнів біологічної небезпеки забруднення екосистем становить двоєдине завдання геотоксикології, що синтезує методологічні принципи геохімії та токсикології. У логічному поєднанні обґрунтованих критеріїв оцінок інтенсивності техногенних змін середовища життєдіяльності формується новий розділ біогеохімії.

**Практична значимість.** Пропонується виконання токсикологічного контролю екологічної обстановки на базі біотестування, що забезпечує інтегральну оцінку стану середовища. При цьому визначається конкретна регіональна прив'язка рівнів стійкості життєво важливих функцій і виживання індикаторних груп організмів.

**Ключові слова:** морське середовище, донні осади, геотоксикологічні дослідження.

*O. P. Kravchuk, V. P. Panko, V. N. Kadurin, I. A. Suchkov*

#### METHODOLOGICAL BASIS AND CONCEPTUAL SCHEME FOR GEOTOXICOLOGICAL STUDIES OF THE MARINE ENVIRONMENT

**Purpose.** Statement of the principles of complex analysis and conceptual scheme of geotoxicological studies of the marine environment.

**Methods.** Experimental and methodological work on assessing the geotoxicological situation in the support areas of the industrial and urban agglomeration and agricultural complexes in the Odessa region.

**Findings.** Data on the content of macronutrients, microelements and ultramicroelements.

**Originality.** A conjugated study of the geochemical situation and levels of the biological hazard of ecosystem pollution constitutes a two-pronged task of geotoxicology, synthesizing the methodological principles of geochemistry and toxicology. In the logical combination of justified criteria for assessing the intensity of technogenic changes in the life environment, a new division of biogeochemistry.

**Practical implications.** It is proposed to perform toxicological control of the ecological situation on the basis of biotesting, which provides an integral assessment of the state of the environment. At the same time, specific regional binding of the levels of stability of vital functions and survival of indicator groups of organisms.

**Key words:** marine medium, bottom sediments, geotoxical investigations.