УДК 005:(550.82 + 502.7)(26.03)

И.А.АНДРЕЕВА, А.Г.ЗИНЧЕНКО, Б.Г.ВАНШТЕЙН, О.А.КИЙКО, В.И.ПЕТРОВА

Всероссийский научно-исследовательский институт геологии и минеральных ресурсов Мирового океана, Санкт-Петербург, Россия

МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ПРИНЦИПЫ ЛАНДШАФТНО-ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ ШЕЛЬФА НА ПРИМЕРЕ БАРЕНЦЕВА МОРЯ

Предложена методология отображения геоэкологической обстановки и техногенного загрязнения природной среды арктических морей на основе ландшафтно-геохимического районирования, что нашло отражение на картах Баренцева моря. При составлении карт использованы материалы по литологии и минералогии донных отложений, данные о содержании химических элементов в осадках и взвесях, сведения о количественном распределении и видовом состава бентоса. Показатели состояния природной среды проанализированы с учетом особенностей рельефа дна.

In this study is offered the methodology of mapping of geoecological conditions and pollution of the Arctic seas environment based on geochemical zoning. That has found reflection on the maps of the Barents sea. At making up of maps the materials on lithology and mineralogy of bottom sediments, data on the content of chemical elements in deposits and suspensions and information about quantitative distribution and benthos spices structure are used. The characteristics of conditions of natural environment are analyzed in view of features of a bottom relief.

В преддверии активного освоения минеральных ресурсов арктического шельфа России оценка геоэкологической ситуации в регионе является крайне актуальной. Имеющиеся данные позволяют в общих чертах оценить на региональном уровне геоэкологическую ситуацию. Основой такой оценки являются такие показатели природной среды, как рельеф дна, литология современных донных отложений, их геохимия, а также биота.

Изучение рельефа дна и природных условий арктического шельфа позволило наметить наиболее вероятные, с геоморфологической точки зрения, трассы переноса и пункты накопления (геоморфологические «ловушки») осадочного вещества. Анализ гранулометрического и минерального состава современных донных отложений с учетом их сорбционных свойств дал возможность оценить с литологических позиций вероятность накопления химических веществ в разных районах шельфа.

Обобщение на этой основе имеющихся геохимических данных обеспечило итоговую оценку геоэкологической ситуации (рис.1). Выводы о степени нарушенности природной среды получены на основании анализа состояния биоты (главным образом, донный бентос).

В качестве методологической основы выделения и картографирования природного состояния и результатов техногенного воздействия на среду арктических морей для обоснования выбора участков с целью постановки долгосрочного мониторинга геологических и техногенных процессов нами предложен комплексный подход. Он заключает в себе изучение литологии и геохимии современных донных отложений, а также состояния биоты и отображение данных на морфолитодинамической основе в виде серии фактурных, интерпретационных и прогнозных карт ландшафтно-геоэкологической направленности, которые в комплексе содержат характеристику геоэкологического состояния изученной акватории. В качестве примера использования предложенного методологического подхода был составлен геоэкологический атлас шельфа Баренцева моря (рис.2).

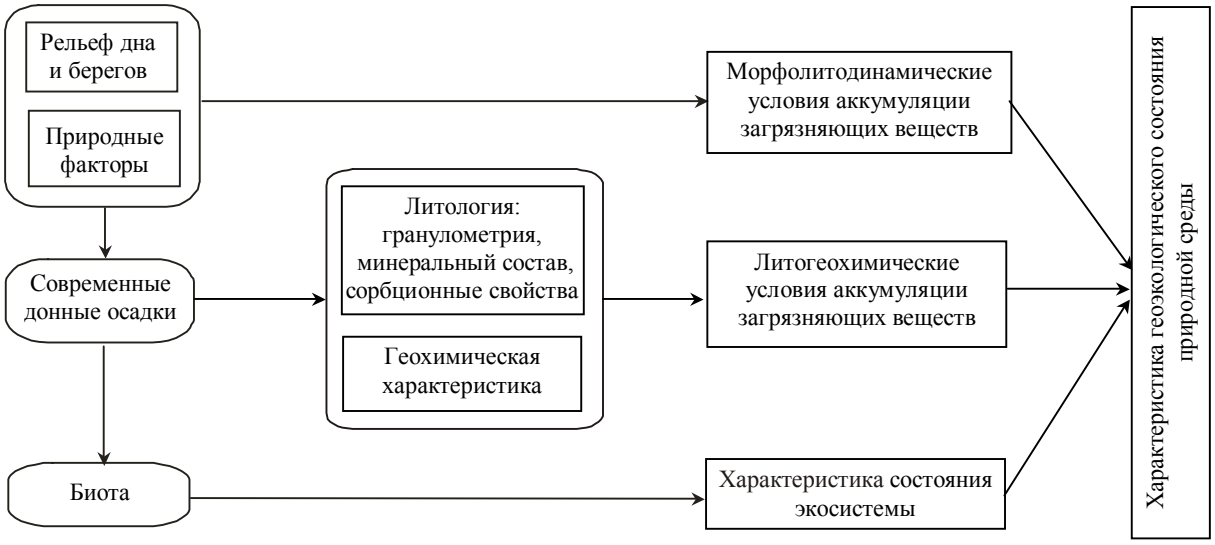


Рис.1. Принципиальная схема оценки геоэкологического состояния арктического шельфа

<table>
<tr><td colspan="2">Карта рельефа дна</td><td colspan="4">Карта фактического материала</td></tr>
<tr><td>Геоморфологическая карта</td><td rowspan="2">Карта геоморфологического районирования</td><td rowspan="2">Карта литологических типов современных донных осадков</td><td rowspan="2">Карта распределения сообществ макробентоса</td><td rowspan="2">Карта распространения полиэлементных геохимических ассоциаций в донных осадках</td><td rowspan="2">Карта распределения органического углерода в донных осадках</td></tr>
<tr><td>Морфолито-динамическая карта</td></tr>
<tr><td colspan="6">Ландшафтно-геохимическая карта</td></tr>
<tr><td colspan="6">Карта геоэкологического районирования</td></tr>
</table>

Рис.2. Комплект карт в геоэкологическом атласе Баренцева моря

Геоэкосистема шельфа является продуктом геологических процессов и биоценоза, поэтому для установления факторов, определяющих и контролирующих пространственную локализацию концентрации элементов, необходим синтез всех вышеуказанных характеристик, который осуществляется через геохимические ландшафты – сложные природные системы с определенными законами миграции и концентрации веществ. Ландшафтно-геохимический анализ позволяет выявить взаимозависимость форм рельефа с литологическим составом донных осадков, пространственным распределением комплексов макробентоса и геохимической характеристикой выделенных ландшафтных единиц.

Комплекс методов геоэкологической оценки и используемые при этом концептуальные подходы были окончательно отработаны на шельфе Баренцева моря [6]. При этом использованы материалы исследований последних лет, которые обеспечены современными средствами географической привязки пунктов пробоотбора и обработаны сертифицированными лабораториями. В итоге стало возможным сформулировать выводы о вероятных схемах переноса и депонирования осадков вместе с ассоциирующими с ними загрязняющими веществами, а

также дать рекомендации относительно размещения пунктов мониторинга на арктическом шельфе.

Геоморфологическая карта. Данная карта составлена по морфологическому принципу и специально модифицирована для задач настоящего исследования [3]. Используемый принцип обеспечивает четкое выделение элементов в границах, имеющих конкретный физический смысл [7, 8]. Объектами картографирования являются образующие рельеф элементарные разноуклонные и разноориентированные поверхности, причем не в обобщенных, а в конкретных четко определенных границах, которые определяются по строгим правилам и только на основании анализа морфологии рельефа без привлечения информации из смежных областей геологии.

Морфолитодинамическая карта. Данная карта показывает, какую роль играет рельеф в распределении потоков осадков, позволяет выявить источники поступления, пути переноса и депоцентры, в которых возможны отложения и консервация осадков и связанных с ними химических веществ. Все элементарные поверхности проанализированы с точки зрения их роли в контроле двух видов литодинамических потоков: нисходящих и циркуляционных по отношению к поверхностям (верхние поверхности рассматриваются как источник сноса, нижние замкнутые – как конечные пункты стока). Геоморфологические ловушки рассматриваются как депоцентры, где возможно улавливание и аккумуляция загрязняющих веществ.

Карта геоморфологического районирования. Данная карта показывает орографические границы вдоль конкретных морфологических элементов. В настоящей работе контуры форм проводились вдоль границ образующих их элементарных поверхностей [2].

Карта литологических типов современных донных осадков. Карта отражает распространение разных видов осадков в поверхностном слое рыхлой части чехла. На основе проведенной типизации донных осадков региона по главным определяющим признакам: гранулометрическому и минеральному составу с привлечением характеристик по содержанию аморфного кремнезема, органического и карбонатного углерода, влияющих на сорбционные свойства осадков [4], – выделено 12 основных литологических разновидностей пород, для которых были определены предельные уровни насыщения тяжелыми металлами [1], что позволило дифференцировать отложения по сорбционным свойствам. С учетом показателей сорбции и десорбции тяжелых металлов осадками была построена схема рекреационных способностей литологических типов донных отложений и выделены районы распространения осадков с повышенными сорбционными свойствами.

Карта распределения сообществ макробентоса. Для выделения бентосных сообществ была использована их классификация, максимально отражающая состояние средовых переменных [5]. В результате на акватории Баренцева моря выделено и показано распространение 15 сообществ. В результате исследований, проведенных в 1992 г., по накоплению хлорорганических соединений, тяжелых металлов и радионуклидов бентосными организмами был получен ряд закономерностей, позволяющих говорить о приоритетности накопления тех или иных элементов определенными группами организмов (см. таблицу) [10].

Карта распространения полиэлементных геохимических ассоциаций в донных осадках. С целью установления региональных геохимических особенностей донных отложений баренцевоморского шельфа были проанализированы средние содержания химических элементов, рассчитанных как в целом для сводной выборки, так и для выделяемых ландшафтных единиц. Анализ аномальных значений коэффициентов концентрации химических элементов в пелитовой фракции донных отложений баренцевоморского шельфа позволил выделить шесть ведущих полиэлементных ассоциаций химических элементов: (V-Ag-Cd), (Ba-Pb-Sc), (Mn-Sn), (Li-Zr), (Fe-Co-Ni-Cu), (Ti-Cr-Ga-Zn), каждая из которых характеризуется своими геохимическими параметрами.

Приоритетное накопление загрязняющих веществ группами организмов

	Комплексы сообществ макробентоса				
Загрязняющие вещества	Глубоководные (офиуры Ophiopleura borealis, фораминиферы Hormosina globulifera)	Грунтоеды		Прибрежные мелководные водоросли (p. Lithothamnion) и неподвижные сестонофаги	Двустворчатые моллюски (Tridonta borealis, Ciliatocardium ciliatum, Serripes groenblandicus)
		Голотурии p. Trochostoma, морские ежи Brisaster fragilis	Полихеты, мягкие кораллы, губки		
Химические элементы, радионуклиды, поллютанты	Zn, Sn, Cu, Ni	Zn, Sn, Cu, Ni	Хлор-органические соединения	Радионуклиды, хлорорганические соединения, Zn, Sn, Cu, Ni	Fe, Mn

Карта распределения органического углерода в донных осадках. Большинство диагенетических процессов, протекающих в донных отложениях, инициируются и поддерживаются присутствующим в них органическим веществом (ОВ). Не менее значимым является и представление о генезисе ОВ, поскольку выявление критериев диагностики органогеохимических аномалий основывается, прежде всего, на обобщении закономерностей и анализе вариаций состава ОВ различного генотипа [9]. Обогащенное высокомолекулярными органическими соединениями гумусовое ОВ, образующее устойчивые органоминеральные комплексы с тонкодисперсным осадочным материалом, способствует избирательному накоплению полютантов. Депонирование в осадках наиболее устойчивых и консервативных представителей группы загрязняющих веществ (диоксины, хлорорганические соединения) обычно коррелирует с содержанием в них ОВ, обладающего высоким сорбционным потенциалом.

Ландшафтно-геохимическая карта. Анализ ландшафтной структуры позволяет изучить особенности пространственного распределения основных факторов, определяющих геоэкологическое состояние среды: литологические особенности осадков, особенности бентоса и, главное, геохимическую составляющую, что позволяет оценить уровень накопления тяжелых металлов в донных комплексах. Исследования подводных ландшафтов представляет собой новое, находящееся в стадии становления направление в современной морской геологии, но именно ландшафтно-геохимический анализ позволяет судить о строении и функционировании природных систем и средообразующих факторов и является основой для определения геоэкологической ситуации на арктическом шельфе.

Карта геоэкологического районирования. Информация о факторах, определяющих состояние природной среды, о районах с аномальными геохимическими параметрами на фоне характеристики относительного взаимного расположения поверхностей с целью выявления областей размыва, направления транзита и районов накопления осадков, а также зон аккумуляции химических элементов и органических соединений легла в основу геоэкологического районирования шельфа. На примере баренцевоморского шельфа выделены ландшафтно-геоэкологические провинции с определенными зонами аккумуляции и преобладанием тех или иных факторов формирования природных геохимических аномалий. Выявление «ловушек» позволило наметить и обосновать участки для постановки долгосрочного геоэкологического мониторинга.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Андреева И.А.* Сорбционные свойства современных донных осадков Баренцева моря и их значимость для оценки геоэкологической обстановки в регионе / И.А.Андреева, Г.П.Гринберг, В.Я.Кабаньков // Мат. II Международ. совещания «Геохимия биосферы». Новороссийск, 1999. С.16-17.

2. *Зинченко А.Г.* Новая орографическая схема Арктического шельфа России // Геолого-геофизические характеристики литосферы Арктического региона / Всерос. науч.-исслед. ин-т геологии и минеральных ресурсов Мирового океана. СПб, 2000. Вып.3. С.51-66.

3. *Зинченко А.Г.* Геоморфологическая основа комплексных ландшафтно-геоэкологических исследований

Баренцева моря // Опыт системных океанологических исследований в Арктике». М.: Научный мир, 2001. С.476-482.

4. Исследования современных донных осадков в связи с проблемой экологии / И.А.Андреева, В.С.Аплонов, Г.П.Гринберг, В.Я.Кабаньков // Освоение шельфа Арктических морей России – РАО-97: Мат. III Международ. конференции. СПб, 1997. Ч.2. С.543-548.

5. *Кийко О.А.* Статистический анализ пространственно-временной структуры донного населения Баренцева моря и прилежащих акваторий / О.А.Кийко, В.Б.Погребов // Биология моря. 1998. Т.24. № 1. С.3-9.

6. Ландшафтно-геоэкологические исследования акватории Баренцева моря как основа для постановки долгосрочного мониторинга / И.А.Андреева, Б.Г.Ванштейн, А.Г.Зинченко, О.А.Кийко, В.И.Петрова // Концептуальные проблемы геоэкологического изучения шельфа / Всерос. науч.-исслед. ин-т геологии и минеральных ресурсов Мирового океана. СПб, 2000. С.17-32.

7. Ласточкин А.Н. Рельеф земной поверхности. Л.: Недра, 1991. 340 с.

8. Основы геоэкологии / Под ред. В.Г.Морачевского. СПб: Изд-во СПбГУ, 1994. 352 с.

9. *Петрова В.И.* Корреляционная диагностика УВ аномалий в донных осадках Арктического шельфа / В.И.Петрова, Г.И.Батова, М.А.Галишев // Геохимия. 2000. № 3. С.301-308.

10. *Kiyko O.A.* Persistent organic pollutant, trace metal and radionuclide concentrations in bottom organisms of the Barents Sea and adjacent areas / O.A.Kiyko, V.B.Pogrebov // Mar. Pol. Bull. 1997. Vol.35. № 7-12. P.340-344.