

УДК 551.510.42

**МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ОЦЕНКИ ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ СРЕДЫ КАЗАХСТАНСКОГО ПРИАРАЛЬЯ**

Б.К. Бекнияз

*Современное состояние геологической среды Приаралья является результатом взаимодействия природных и техногенных факторов. Для анализа взаимодействия составляется базовая картографическая модель геологической среды и техносферы с использованием методов типизации. Комплексное изучение современного состояния геологической среды и техносферы региона с привлечением материалов аэрокосмических съемок служит основой для прогнозирования геоэкологических условий территории. Базой таких прогнозов является количественный ретроспективный анализ изменений геологической среды.*

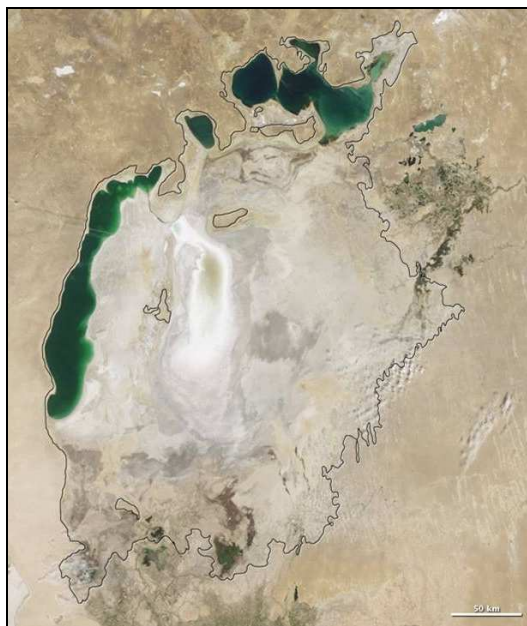
В Республике Казахстан экологические вопросы переведены в ранг национальной безопасности и рассматриваются в контексте с устойчивым развитием общества. В этой связи, на уровне Президента страны принят ряд важнейших документов в области экологии и устойчивого развития. Среди них особое место занимают Концепция экологической безопасности Республики Казахстан на 2004...2015 гг., Концепция перехода Республики Казахстан к устойчивому развитию на 2007...2024 гг. и Экологический кодекс Республики Казахстан.

Научные исследования для обоснованной выработки рекомендаций по практической реализации направлений и правовых основ, отраженных в данных документах, являются весьма актуальным для Казахстана. На протяжении многих десятилетий в Казахстане складывалась преимущественно сырьевая система природопользования с экстремально высокими техногенными нагрузками на окружающую среду. И в настоящее время экологическая ситуация характеризуется деградацией природных систем, что ведет к дестабилизации биосферы, утрате ее способности поддерживать качество окружающей среды.

Одной из задач в области экологической безопасности является предотвращение процессов опустынивания и деградации земель. Большая

часть Казахстана располагается в засушливой зоне и около 66 % ее территории в разной степени подвержено процессам опустынивания.

Рассматриваемый нами Приаральский регион находится на территории, подверженной процессам опустынивания и деградации земель. В результате непродуманных хозяйственных действий произошло обмеление Аральского моря и на прилегающей к нему территории нарушилась естественная экологическая система, деградировала флора и фауна, и вследствие неблагоприятной экологической обстановки нанесен существенный вред здоровью населения (рис. 1).



*Рис. 1. Космический снимок Аральского моря (2009 г.) с изображением его береговой линии по состоянию на 1965 г.*

Экологическое состояние Приаральского региона в немалой степени определяется негативными изменениями не только воздушного бассейна, гидро- и биосферы, но и геологической среды. Поэтому, нами проведена комплексная оценка состояния, изменений и динамики геологической среды, которая решает вопросы прогнозирования развития систем и представляет объективные данные качественного и количественного характера для разработки рекомендаций по охране и рациональному использованию территории. Актуальным является использование современных методов исследований, основанных на инженерно-геоэкологическом подходе, использовании дистанционных методов зондирования, организации сети стационарных наблюдений и комплексного геоэкологического мониторинга.

В ходе проведенных исследований изучены инженерно-геологические условия Приаралья, в том числе осушенного дна Аральского моря. Установлено влияние неотектоники и современных движений на формирование крупногрядового песчаного рельефа Северных Кызылкумов. Выявлена динамика компонентов геологической среды, их направленность и скорость в физическом времени, впервые выявлены погребенная дельта и палеоруслу Сырдарьи по материалам космических съемок, установлены особенности отображения на них компонентов геологической среды.

В основу исследований положены результаты полевых работ, стационарных наблюдений, дешифрирования аэрокосмических снимков. Проведено картографирование в масштабах 1:500 000 и 1:200 000, организован ряд наблюдательных площадок, профилирование и съемки осушенного дна Аральского моря, крупномасштабные съемки и картографирование отдельных проявлений процессов, ежегодные аэровизуальные и наземные наблюдения береговой зоны Аральского моря, горные выработки с отбором проб грунта и воды для лабораторных анализов.

Геологическая среда оказывает непосредственное влияние на экологическую обстановку любого региона, являясь наиболее консервативной по сравнению с другими средами, такими как атмосфера или гидросфера, в смысле их изменчивости. Геологическая среда изменяясь, только после длительного хозяйственного воздействия на нее, влечет угрозу здоровью и жизни человека. Но, на ее восстановление до стабильного состояния требуется гораздо больше времени и средств.

В условиях Приаралья геологическая среда особенно чувствительна, легко ранима и поэтому динамична. Чувствительность выражается в слабой степени устойчивости компонентов геологической среды аридной зоны, а динамичность – в проявлении широкого спектра экзогенных геологических и техногенных процессов.

Анализ формирования опасных геоэкологических ситуаций и состояния изученности геологической среды Приаралья позволяет выбрать те пути и методы решения проблемы, которые отвечают следующим требованиям. Во-первых, экологически кризисная ситуация предопределяет экологическую направленность любых видов исследований; во-вторых, возможность фиксации быстроизменяющихся условий геологической среды; в-третьих, комплексность, быстрота и дешевизна проводимых работ; в-четвертых, принятие во внимание уникальности изменений природных условий и, в-пятых, возможность выдачи обоснованных прогнозов и рекомендаций.

Геологическая среда, в классическом ее понимании [6], теснейшим образом связана с инженерно-хозяйственной деятельностью и изменяется под ее воздействием. Одностороннее изучение геологической среды с целью предотвращения ее негативного воздействия на хозяйственные объекты не учитывает влияние ее изменений на атмосферу, гидросферу и биосферу, которые непосредственно определяют жизнедеятельность человека. Поэтому в настоящее время вопросы охраны и рационального использования геологической среды стоят очень остро. Экологический подход к изучению геологической среды предусматривает новое направление в инженерно-геологической науке, это инженерная геоэкология. Разработанное и предложенное Г.А. Голодковской и Ю.Б. Елисеевым, это направление ставит своей задачей изучение геологического пространства как среды обитания, и ее инженерного преобразования. Авторы так понимают сущность нового направления: «Выделение инженерной геоэкологии в самостоятельное направление продиктовано его отличиями от традиционных инженерно-геологических исследований. Инженерная геология, изучая верхние этажи литосферы, основной упор делает на оценку и прогноз влияния геологической среды на устойчивость сооружений. Новое направление целью своих исследований ставит изучение обратных связей сооружения с геологической средой. Под инженерной геоэкологией понимается системное изучение взаимодействия геологической среды с внешними как природными, так и искусственными средами.... Генеральной задачей инженерной геоэкологии является разработка теории и методов системного анализа энергомассообмена между геологической средой, техносферой и контактными средами .... Общий методологический подход к инженерно-геологическому изучению геологической среды определяется довольно четко. Он основан на представлениях о тесных массо- и энергосвязях геологической среды с другими природными и техногенными средами, требующих системного изучения составляющих эти среды компонентов» [3].

При разработке конкретных методов и форм управления состоянием геологической среды за основу должен быть принят функциональный подход. Именно он заставляет учитывать многообразие и взаимообусловленность процессов антропогенного воздействия на геологическую среду. Главное методологическое условие изучения геологической среды в сегодняшней экологически тревожной ситуации заключается в системности построения базовой модели. Базовая модель должна быть картографической – в виде атласа специализированных карт, отражающих полную кар-

тину взаимодействий лито- и техносферы с поверхностными водами, почвами и растительностью, поверхностной частью атмосферы. Главным видом исследований является составление объемной, динамичной картографической модели территории в виде атласа вспомогательных и основных карт, характеризующих геологическую среду и техносферу.

Геоэкологический мониторинг является важнейшей составляющей частью геоэкологических исследований. Мониторинг включает наблюдение, оценку и прогноз антропогенных изменений, выявление источников и причин этих изменений. В настоящее время существуют различные варианты применения мониторинга. Для целей изучения геологической среды выделяются три типа мониторинга в зависимости от сферы применения и методов осуществления. Это инженерно-геологический мониторинг или литомониторинг, гидрогеологический мониторинг или мониторинг подземных вод, и аэрокосмический мониторинг геологической среды (АКМГС).

Перечисленные виды мониторинга относятся к отраслевым, поэтому в настоящее время предложен еще один вид мониторинга, комплексный.

«Комплексный мониторинг биотехносферы можно определить как систему повторяющихся, заранее запланированных наблюдений за изменением приоритетных показателей состояния отдельных систем биосферы (тропосферы, поверхностной гидросферы, гидролитосферы); оценки и прогноза этих изменений во времени и пространстве и направленного управления ими» [4].

В последнее время определился еще один вид мониторинга – геоэкологический. Это информационная система, включающая картографическую модель, канал информационного обеспечения модели, подсистемы обработки, хранения данных и математического прогнозного моделирования. Предметом его изучения является геологическая среда, техносфера, элементы граничных сред.

Одним из способов осуществления геоэкологического мониторинга является АКМГС. Основные положения АКМГС определены как система регламентированных периодических дистанционных наблюдений за состоянием геологической среды и ее пространственно-временными изменениями, их оценки и прогноза для решения управленческих задач по охране и рациональному использованию земных недр. Основными объектами АКМГС являются изменяющиеся компоненты геологической среды, а также воздействующие на нее природные и антропогенные факторы, которые прямо или косвенно отражаются на материалах дистанционных

съемок. Организация и проведение АКМГС предусматривает соблюдение принципов комплексности, периодичности, последовательного приближения, унификации и автоматизации.

Элементом мониторинга является ретроспективный анализ изменений геологической среды. Он осуществляется с использованием ранее составленных топографических и тематических карт, аэро- и космических снимков прошлых лет. В наших исследованиях были использованы топографические карты территории Приаралья, масштаба 1:200 000 (1948 г.), космические снимки (КС) масштаба 1:200 000 и мельче, начиная с 1976 г., аэрофотоснимки различных масштабов и времен съемки. А также использованы тематические карты различного масштаба и времени составления. Эти материалы служили основой для карт динамики геологической среды и техносферы.

В работе также осуществлены некоторые элементы литомониторинга. В частности, были проведены инструментальные замеры параметров некоторых экзогенных геологических процессов. Замеры производились ежегодно на оборудованных площадках. Проводились наблюдения за процессами овражной эрозии, плоскостного смыва, движения песков, определялись скорость прохождения процесса и объем вынесенного материала. На осушенном дне Аральского моря выполнены работы по изучению изменений физико-механических свойств грунтов.

Организация и осуществление мониторинга геологической среды Приаралья, как и других регионов, дело сложное и дорогостоящее, под силу крупным организациям. Нашей задачей является применение элементов мониторинга и отдельных его стадий для изучения изменений и прогноза состояния геологической среды на ближайшее будущее с целью выдачи научно-обоснованной рекомендации по организации мониторинга геологической среды Приаралья.

Отвечая требованиям инженерно-геологических исследований и особенностям природных условий Приаралья, методика выполненных работ складывалась из трех основных видов, которые взаимодополняют друг друга и являются звеньями комплексной оценки геологической среды Приаралья. Это дистанционные методы зондирования, наземные полевые работы и инженерно-геологическое картографирование.

Широкое применение аэрокосмических методов исследований геологической среды Приаралья обусловлено рядом причин. Это большая площадь, плохая транспортная доступность, динамичность геологической среды, отсутствие информации о современном ее состоянии, объектив-

ность материалов съемок в отражении изменений внешнего облика геологической среды, хорошая обзорность и возможность получения качественно новой информации. Аэрокосмические методы широко использованы нами при составлении инженерно-геологической карты Казахстанской части Приаралья [1]. При составлении геодинамической карты также были использованы материалы космофотосъемки различных видов, масштабов и времен. Основой составления ее послужила карта парагенетических комплексов процессов [5].

Широкое применение нашли КС при картировании литологических типов грунтов на осушенном дне Аральского моря, при выявлении участков субаквальной разгрузки подземных вод, участков развития экзогенных геологических процессов. При составлении карты техногенной нагрузки на геологическую среду, с помощью КС выделены различные типы хозяйственных объектов, а также результатов этих воздействий. Была уточнена гидрографическая сеть района, особенно конфигурация внутридельтовых, фильтрационных и околоскважинных озер, выявлены сухие русла древних водотоков. При характеристике неотектонических особенностей региона выявлены линеаменты меридианальной ориентировки, которые определили направленность крупнорядового рельефа песчаных массивов Кызылкумов [2].

По космоснимкам регионального уровня генерализации впервые выделены погребенная дельта и русла палео-Сырдарьи, уточнены границы распространения водоносного комплекса верхнечетвертичных отложений. Важная роль отводится космоснимкам при проведении ретроспективного анализа изменений геологической среды, при котором широко используется периодичность космических съемок.

Наземные полевые инженерно-геоэкологические исследования проводились ежегодно. Они включали: аэровизуальные наблюдения, определение ключевых участков и работу на них, проведение опорных маршрутов, инженерно-геологическое опробование, горно-проходческие работы, инженерно-геоэкологические наблюдения и фотодокументацию.

Основными результатами, применяемой методологии является базовая модель геологической среды и техносферы. Она носит объемный, динамический картографический и описательный характер. Картографическая часть модели представляется в виде атласа специальных вспомогательных и основных карт.

Описательная часть содержит текстовую характеристику моделей в виде пояснительных записок. Вспомогательные карты, характеризующие геологическую среду, включают: геологическую, геоморфологическую, гидрогеологическую, геодинамическую и ландшафтно-геохимическую. Вспомогательные карты, характеризующие техносферу, включают карты инженерно-хозяйственного освоения (нагрузки) и инженерно-хозяйственного воздействия на геологическую среду.

Основные карты включают типизации геологической среды, техногенных воздействий и состояний (измененности) геологической среды, прогнозные геоэкологические карты. Последние трансформируются в картографическую модель рекомендательного плана.

Представленная методология проведения работ на территории казахстанской части Приаралья позволила выявить ряд закономерностей и новое представление о некоторых условиях и процессах исследуемой территории. Приведем несколько, интересных с нашей точки зрения, примеров.

1. При анализе работ по гидрогеологическому изучению территории Приаралья нами (с использованием космических снимков) получены новые данные. Как известно, по космофотоснимкам можно распознать погребенные речные долины и дельты. Обычно врезы палеорек в Приаралье заполнены осадками, а сверху перекрыты эоловым чехлом.

На космических снимках по потемнению фототона, характерному для территорий с повышенной влажностью, нами впервые, в районе между реками Жанадарья и Кувандарья выявлена погребенная дельта палео-Сырдарьи (рис. 2). В плане это треугольник, с многочисленными извилистыми полосами, отходящими от нее в сторону реки Кувандарья и соединяющиеся с ней в месте ее крутого поворота на север, а также рукава, отходящие к южной окраине современной дельты Сырдарьи. Палеоруслы, являясь гидроиндикаторами, могут указывать места формирования подземных гидрогеологических бассейнов. При сопоставлении схемы дешифрирования данного космоснимка с гидрогеологической картой Приаралья оказалось, что выделенная нами погребенная дельта соответствует водоносному горизонту верхнечетвертичных аллювиальных отложений. Но контур ее предположительно выделен по нескольким точкам бурения, поэтому представленная нами информация уточняет контур распространения этого водоносного горизонта и может служить фактическим материалом при построении палеогеографических схем миграций палеорусел Сырдарьи.





*Рис. 2. Космический снимок территории междуречья р. Сырдарьи и сухого русла Жанадарьи в Северных Кызылкумах.*

2. В тектоническом отношении палеозойский фундамент региона представляет собой систему субмеридианальных блоков, разделенных разно порядковыми разломами и сложенных породами геосинклинальных складчатых тектоно-стратиграфических комплексов от архейско-нижнепротерозойского до верхнепалеозойского возраста. Пликативные структуры осложняются протяженными долгоживущими разломами и мелкими разрывами. Выраженность пликативных деформаций в рельефе, например, дислоцированность балочных, речных и морских террас, а также структурная обусловленность рельефа рассматриваются как косвенные признаки проявления неотектоники.

Выраженность неотектонических движений в рельефе наглядно иллюстрирует следующий пример. Район Северных Кызылкумов является частью исследуемой территории и представляет большой интерес в силу своей малой изученности и необычности песчаного рельефа. Необычность заключается в наличии крупных песчаных гряд меридиональной ориентировки. Если мы обратимся к космическому снимку регионального уровня генерализации, то непременно отметим еще одну особенность рельефа территории (рис. 2). Это параллельность песчаных гряд, между которыми также параллельно расположены древние речные долины. На черно-белом снимке пески отображаются темным зернистым фототонном, а долины более светлым. Особенно четко и контрастно эта особенность выражена на территории, ограниченной с севера рекой Сырдарьей, с запада – восточ-

ным берегом Аральского моря, с юга-востока – древней аллювиальной равниной Жанадарьи. Эта территория не осталась без внимания многих исследователей пустынь, которые изучали историю ее геологического развития и особенности геоморфологического строения.

Несколько выдержек из истории геологического развития. Миграция Сырдарьи началась на рубеже миоцена и плиоцена и продолжается до настоящего времени. Миграцию Сырдарьи подтвердили данные бурения, обнаружившие русловые пески. К юго-востоку от Арала Сырдарья образовала обширную аллювиальную равнину. Песчаный аллювий был переработан эоловыми процессами, и в результате сформировалась песчаная равнина с грядовым, ячеисто-грядовым рельефом.

Б.А. Федорович в работе [7] дает объяснение механизму формирования крупных песчаных гряд на этой территории. Согласно его высказыванию, которое подтверждается многочисленными данными о том, что «присутствие дернового покрова приводит к выпадению эмбриональных форм перпендикулярных ветру и, как правило, к развитию форм параллельных ветру», наши гряды должны быть образованы за счет ветров, дующих в меридианальном направлении. Некоторые выдержки из вышеуказанной статьи Б.А. Федоровича: «Анализ данных метеостанций, находящихся вдоль железной дороги указывает на преимущественное развитие северо-восточных ветров. Направление песчаного рельефа четко обрисовывает «обтекание» ветрами Аральского моря, оказывающееся для них не меньшим препятствием, чем горный массив». Объяснение вышеуказанной роли Аральского моря, пишет автор, следует искать в том, что в течение всего теплого сезона, охватывающего здесь около 8 месяцев, суша настолько сильно нагревается по сравнению с водами Арала, что этот замкнутый бассейн образует над собой своего рода шапку холодной воздушной массы, т.е. свой барометрический максимум, естественно обтекаемый более теплыми ветрами. На первый взгляд все на своих местах – рельеф песков и направление ветров соответствуют. Но обратим внимание на следующее:

Данные многолетних наблюдений на метеостанциях, расположенных в Восточном Приаралье и острове Барсакельмес (не только вдоль железной дороги), однозначно указывают все-таки на преимущественное развитие на этой территории ветров северо-восточного направления.

В вышеуказанной статье автор убедительно доказывает, что «зимняя», а не «летняя» система ветров в этом районе в большей мере определяет рельеф песков, потому что обладает большей силой. Это не соотносится с

образованием барометрического максимума в летнее время. Почему подобного «обтекания» не происходит в районе Каспийского моря, такого же замкнутого водоема аридной зоны («Схематическая карта распространения лесса и рельефа песков Азии», автор Б.А. Федорович [8])? Эти данные опровергают предположение Б.А. Федоровича об обтекании Аральского моря северо-восточными ветрами и изменения своего направления на северное. Чем же на самом деле обусловлена такая ориентировка песчаных гряд и древних сухих русел, расположенных между ними?

При дешифрировании космических снимков регионального уровня генерализации, по характеру изгибания русел рек Сырдарья, Кувандарья и Жанадарья выделены линеаменты меридиональной ориентировки. Их направление совпадает с направлением многочисленных сухих древних русел рек и межгрядовых такыровидных понижений. Направление песчаных гряд также совпадает с линеаменентами, что однозначно может указывать на пространственную связь между ними.

При сопоставлении отдешифрированных линеаментов с «картой разломов...», оказалось, что два из них соответствуют Сырдарьинскому и Казалинскому разломам. При наложении на тектоническую карту палеозойского фундамента часть линеаментов совпадает с разломами и элементами фундамента, вытянутыми в меридиональном направлении (гранитные интрузии, ограниченные разломами). Мощность осадочного чехла на этой территории составляет 1200...1500 м. Несмотря на это ориентировка элементов фундамента повлияла на современный рельеф. Это говорит о ведущей роли неотектонических движений в формировании рельефа.

Как известно, в среднем плиоцене под влиянием растущего Центрально-Кызылкумского поднятия, Сырдарья начала миграцию с юга на север. Рельеф того времени имел форму увалов преимущественно субширотного направления, и изменения направлений течения рек обуславливались их прорывом в смежные гипсометрически ниже расположенные долины. По нашему мнению этот прорыв происходил по ослабленным зонам трещиноватости меридиональной ориентировки, которые к этому времени уже были заложены. Воды выработали эти долины, заноса сюда песчаный аллювий. Это подтверждают геоморфологические профили, (располагающиеся в крест простираанию описываемых долин), из которых следует, что эоловые пески наложены не на ровную глинистую поверхность, а на волнообразную с чередованием понижений и поднятий. При этом образуется глинистый вал под песчаными грядами. По мере обезвоживания песчаный

аллювий был переветрен ветрами и скопился в бортовых частях в виде гряд. А ветры северо-восточного направления в приземном слое подстраиваются по направлению долин, меняя свою ориентировку.

3. Грунты осушенного дна Аральского моря представляют большой научный интерес. Нами были изучены физико-механические свойства грунтов и их изменение во времени; оценка скорости диагенетических преобразований отложений; изучение особенностей развития экзогенных геологических процессов. Территория осушенного дна Аральского моря сложена комплексом современных морских песчано-глинистых отложений, свойства и состояние которых изменяются во времени, вследствие смены морских условий на континентальные. Сравнительная характеристика свойств грунтов производилась по времени высвобождения грунтов из-под воды и в одной точке опробования через определенный интервал времени (год).

Анализ физических свойств грунтов осушенного дна, проведенный по 130 пробам, показал, что существуют определенные закономерности их изменений во времени. Полученные данные позволяют отнести изменения в этих грунтах к ранней стадии диагенеза. Диагенез на осушенном дне происходит за счет обезвоживания и уплотнения грунтов, увеличения испарительной концентрации солей и одновременно сопровождается процессами рассоления и метаморфизации вод морского происхождения при взаимодействии с метеорными водами. Возможен также катионный обмен между поглощающим комплексом глин и поровым раствором в зоне аэрации. Знание этих показателей необходимо для выдачи рекомендаций по фито- и технической мелиорации грунтов осушенного дна моря.

Приведенные выше примеры наглядно иллюстрируют возможности геоэкологического подхода при анализе ситуации и при построении базовой картографической модели для аридных территорий.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бекниязов Б.К. Инженерно-геологическая карта Приаралья М 1:500000, Ташкентская картфабрика ГУГК Узбекистана, 1996.
2. Бекниязов Б.К. К вопросу о происхождении крупногрядового рельефа Северных Кызылкумов. / Материалы республиканской конференции молодых ученых и специалистов по проблемам геологии и геофизики. – Баку: 1988. – изд. Элм. – 99 с.
3. Голодковская Г.А., Елисеев Ю.Б. Геологическая среда промышленных регионов – М.: Недра, 1989. – 220 с.

4. Зеегофер Ю.О., Тютюнова Ф.И. Техногенные подсистемы гидролитосферы: Проблемы управления – М.: Наука, 1990. – 128 с.
5. Позднышева Д.П., Бекниязов Б.К. Карта экзогенных процессов Приаралья М 1:500 000. Ташкентская картфабрика ГУГК Узбекистана, 1996.
6. Сергеев Е.М. Инженерная геология. – М.: Из-во МГУ, 1982. – 248 с.
7. Федорович Б.А. Динамика и закономерности рельефообразования пустынь. – М.: Наука, 1983. – 236 с.
8. Федорович Б.А. Рельеф песков Азии, как отображение процессов циркуляции атмосферы // Проблемы физической географии. – Вып. 13. – 1948. – С. 91-109.

НПО «Евразийский центр воды», г. Астана

## **ҚАЗАҚСТАНДЫҚ АРАЛ МАҢЫНЫҢ ГЕОЛОГИЯЛЫҚ ОРТАСЫН БАҒАЛАУДЫҢ ӘДІСТЕМЕЛІК НЕГІЗІ**

Б.Қ. Бекнияз

*Арал маңының геологиялық ортасының қазіргі заманғы ахуалы табиғи және техногендік факторлардың өзара әрекетінің нәтижесі болып табылады. Өзара әрекетті талдау үшін типтендіру әдістерін пайдаланумен геологиялық ортаның және техносфераның базалық картографиялық моделі құрастырылады. Аэроғарыштық түсірілім материалдарын тартумен өңірдің геологиялық ортасының және техносферасының қазіргі заманғы ахуалын кешенді зерделеу аумақтың геологиялық шарттарын болжау үшін негіз ретінде қызмет етеді. Мұндай болжамның базасы геологиялық орта өзгерістерінің сандық ретроспективалық талдауы болып табылады.*