

Ландшафты соляных куполов: проблемы рационального использования природных ресурсов нуклеарных геосистем

В.П. Петрищев

ФГБУН Институт степи УрО РАН Уральского отделения РАН, Оренбург

Резюме.

Объектом исследования являются ландшафтные геосистемы, сформированные соляной тектоникой.

Характер и цель работы – обобщение сведений, разработка классификации о техногеосистемах солянокупольного происхождения, разработка предложений по оптимизации природопользования для сложных геосистем нуклеарного типа.

Методика. Исследование выполнялось на основе информационно-картографического анализа средствами ГИС (MapInfo, Surfer).

Результаты работы. Расширение представлений о развитии процесса солянокупольного ландшафтогенеза в условиях недропользования и развития техногенных аварий и катастроф. Оценка воздействия на морфологическую структуру ландшафта элементов техногенеза (техногеоморфогенез - отвалы, карьеры, техногенный карст, искусственные русла; техноземы и грунты).

Ключевые слова: соляная тектоника, ландшафт, геосистема, недропользование, рекреация, природно-ресурсный потенциал, техногенез, катастрофа.

Summary.

Object of research are the landscape geosystems created by the hydrochloric tectonics.

Character and the purpose of work – synthesis of data, development of classification about the technogeosystems of a salt-dome origin, development of offers on optimization of environmental management for the composite geosystems of nuclear type.

Methods. Research was carried out on the basis of the informational and cartographical analysis by means of GIS (MapInfo, Surfer).

Results of work. Expansion of ideas of development of process of a salt-dome landscapegenesis in the conditions of subsurface use and development of technogenic accidents and disasters. An assessment of impact on morphological structure of a landscape of elements of a technogenesis (technomorphogeogenesis - dumps, pits, a technogenic karst, simulated beds; badlands and soils).

Key words: Salt tectonics terrain geosystem, use of mineral resources, recreation, natural resource potential, technogenesis, disaster.

Введение. Процессы солянокупольного ландшафтогенеза являются достаточно широко известными в широких кругах геологов и геоморфологов. Описания выходов солей на поверхность появились в глубокой древности. Несмотря на то, что добыча соли относится к одним из самых древних видов недропользования теория формирования соляных залежей и образования соляных поднятий возникла только середине XX века. Автором отечественной концепции солянокупольного тектогенеза является Ю.А.Косыгин – выдающийся геолог, сформулировавший понятие о механизмах формирования соляных поднятий, предложивший их типологию [4].

Петрищев Вадим Павлович – доктор географических наук, доцент, заведующий лабораторией геоэкологии и ландшафтного планирования, E-mail: wadpetr@mail.ru

Особое место в изучении природных процессов, связанных с соляной тектоникой, принадлежит А.И.Дзенс-Литовскому [2]. Им проведена оценка роли техногенных воздействий в формировании озер на солянокупольных поднятиях. Важнейшим этапом на пути развития представлений о солянокупольном ландшафте стали исследования коллектива авторов во главе с В.Н.Синяковым и С.В.Кузнецовой [6, 10]. Ими изучено активное влияние соляных структур на строение, состав, состояние литогенной основы природных геокмплексов, в т.ч. через формирование зон с аномальной проницаемостью, повышенной вертикальной миграцией газов и подземных вод, крупными геофизическими и геохимическими аномалиями, а также геопатогенных зон.

Крупная научная школа по изучению различных аспектов соляной тектоники, в т.ч. проблем техногенеза в зонах разработки полезных ископаемых, связанных с соляными куполами, сформировалась в Техасском университете (г.Остин). Среди техасских геологов следует выделить работы М.Джексона [14, 15] и Э.Коллинза [13]. В частности был подготовлен атлас, описавший особенности поверхности над соляными куполами Палестин (Палестайн), Кичи, Оуквуд в Восточном Техасе при изучении возможности их использования в качестве резервуаров для ядерных отходов. Другим мировым центром изучения процессов солянокупольного тектогенеза является университет в г.Упсала (Швеция), где данное направление развивается К.Талботом.

В Оренбургской области наиболее известной солянокупольной структурой является Илецкий соляной купол. Закономерности карстообразования на Илецком куполе подробно описаны Г.В.Короткевичем [3]. Результаты гидрохимического исследования озер и грязей Илецкого месторождения приведены в работах А.Р.Абдрахманова [1], А.О.Павлова [9], что определяется прежде всего их рекреационно-бальнеологическим значением. Большой резонанс в научной литературе получили события весны 1979 г, связанные с резким усилением карстовых

процессов на месторождении и исчезновению озера Развал. Это отражено в работах И.И.Никитина, Г.А.Русскина [8], гидрогеологических отчетах В.В.Харина [12].

Материалы и методы. *Информационно-картографические материалы и методы.* Картирование с использованием геоинформационных систем было направлено на решение двух задач: 1) получение пакета тематических карт, которые отражают территориальное распределение глубины залегания эвапоритовых отложений, амплитуду соляных поднятий, степень расчлененности рельефа, а также различные почвенно-геохимические, растительные, геопатогенные аномалии; 2) 3D-моделирование поверхностей в целях определения воздействия соляной тектоники на рельеф с последующей оценкой принадлежности геосистемы к определенному этапу солянокупольного ландшафтогенеза. Таким образом, с помощью геомоделирования проводился анализ ландшафтного проявления солянокупольных геосистем как на региональном, так и на локальном уровне.

При анализе мирового распространения солянокупольных геосистем широко использовались приемы картографической индикации. Сущность данных приемов заключается в выявлении воздействия солянокупольной структуры на различные компоненты ландшафта и оценка степени сформированности солянокупольного ландшафта.

Построение 3D моделей средствами ПП Surfer. Метод 3D моделирования поверхности в пределах солянокупольных структур использовался для типизации проявления соляной тектоники в рельефе и ландшафтной структуре Приуралья, Прикаспийской и Примексиканской низменностей, Восточного Техаса, Таджикистана. При формировании модели рельефа в Surfer используется регулярно-ячеистая логическая модель построения данных, которая объединяет множество опорных точек, положение которых фиксируется координатами X, Y, Z, а также морфометрические особенности рельефа.

Математико-статистические методы.

Данная группа методов использовалась для самых различных целей: 1) корреляционной оценке соотношения геотектонических параметров солянокупольных структур с морфометрическими параметрами, характеризующими их геоморфологическое проявление; 2) определение различных параметров морфологической структуры ландшафта с целью оценки воздействия глубины залегания эвапоритовой толщи на особенности солянокупольной геосистемы. Подсчет коэффициентов сложности ландшафтного рисунка, задачей которого было сравнение изменения воздействия соляных структур различных типов на ландшафтную структуру урочищ. Предварительной основой для таких расчетов являлось составление ландшафтных карт ключевых участков, характеризующих разнотипные тектонические структуры, в одном масштабе (М 1:25 000) и с единой системой условных обозначений. Для повышения эффективности оценки устойчивости проводилось сопоставление различных индексов, характеризующих хронологическое, типологическое и энтропийное разнообразие ландшафтной структуры.

Результаты исследования и их обсуждение.

Ландшафты, связанные с солянокупольной тектоникой, относятся к категории наиболее интенсивно используемых в хозяйственной деятельности. Спектр их вовлечения в сферу недропользования охватывает как непосредственную разработку разнообразных полезных ископаемых, связанных, непосредственно с эвапоритовой толщей – каменной соли, гипса, калийных солей, боратов, либо минеральных ресурсов, месторождения которых контролируются соленосной толщей – нефти и природного газа, различных строительных материалов, выведенных на поверхность в результате процесса соляного диапиризма (подъема соляного тела к поверхности и вскрытия надсолевых отложений). Специфическим видом использования соляных куполов является формирование в их толще резервуаров для хранения нефти и природного газа (Дайзетта, Уикс-Айленд в США, Дедуровское подземное хранилище газа (ПХГ) в Оренбургской

области, в Астраханской области), а также ядерных отходов (Горлебен в Германии, Азгир в Казахстане) [11].

Велико значение ландшафтов солянокупольных поднятий в рекреационной и бальнеологической сферах, поскольку с ними связаны крупные озера с высокоминерализованными рассолами (Мертвое море в Израиле, Баскунчак в Астраханской области, Развал в Оренбургской области, Солотвинские озера на Украине), залежи минеральных грязей, соляные пещеры (Южный Иран, Таджикистан), многокилометровые шахты (Величка в Польше), а также различные уникальные природные объекты, представляющие туристический интерес. Достаточно велика роль ландшафтов солянокупольных структур в формировании природоохранных каркасов. Наиболее значительными охраняемыми природными территориями, ядром которых служат солянокупольные ландшафты являются – государственный заповедник «Богдинско-Баскунчакский» и одноименный природный парк, природный парк «Эльтонский», геопарк на острове Кешм в Иране. С солянокупольными ландшафтами связаны многочисленные памятники природы в России (Астраханская, Волгоградская, Оренбургская области), на Украине (Закарпатье, Донецко-Днепровский бассейн), в Западном Казахстане, в США (Южная Луизиана и Восточный Техас), в Северной Германии, в Иране (Ормузский регион). Вместе с этим следует отметить, что высокая хозяйственная ценность солянокупольных геосистем является существенным препятствием, как для организации, так и для сохранения существующих охраняемых природных территорий. Поэтому, несмотря на большую роль, которую вносят данные геосистемы в формирование природного разнообразия, по той или иной причине они не включены в национальный или региональный природоохранный каркас.

Кроме того, в ряде солянокупольных регионов мира, ландшафты соляных поднятий имеют особое значение для сельского хозяйства. В связи с ростом соляных диапиров отмечается общий подъем поверхности, ведущий к измене-

нию водного режима обширных территорий. В Южной Луизиане, где преобладают заболоченные маршевые луга, островные дренированные возвышенности (Эвери-Айленд, Кот-Бланш, Уикс-Айленд) играют важную роль в производстве технических культур. В условиях преобладания солонцовых комплексов на Прикаспийской низменности денудационные возвышенности Эльтонской и Шалкарской равнин, испытывающие процесс рассоления, обладают более плодородными почвами, пригодными для использования в качестве пашни. Таким образом, солянокупольный ландшафтогенз играет мелиорирующую роль по отношению к угодьям, непригодным для ведения сельского хозяйства.

На рисунке 1 отражены основные формы природопользования в пределах солянокупольных геосистем, ведущие к наибольшему изменению их пространственной структуры. Следует отметить, что экологическое равновесие в условиях солянокупольных геосистем зависит от баланса между разнородными техногеосистемами, связанными в основном с добычей минеральных ресурсов, ландшафтно-рекреационными системами, которые связаны с экологически оптимальным использованием солянокупольных геосистем, и системой охраняемых природных территорий, играющих стабилизирующую и восстановительную функцию.

Помимо разнообразного использования следует отметить и высокую опасность недропользования в условиях активных солянокупольных структур. В частности, известны многочисленные примеры катастроф на соляных рудниках.

В настоящее время аварийные ситуации и катастрофические процессы в наибольшей степени возможны на Илецком (Южное Приуралье), Славянском (Донецко-Днепровский бассейн, [5] и Солотвинском (Закарпатье) соляных куполах.

Добыча соли в пределах Илецком месторождения ведется уже более двух столетий. оверхность месторождения представляет собой крупную впадину с системой озер карстово-антропогенного происхождения, обрамленную по

окраинам сохранившимися остатками соляного ядра (гора Туз-Тюбе) и гипсового кепрока (Гипсовая гора), Соленосная толща по всему контуру покрыта системой камер на двух уровнях (+18 м и -160 м). При этом верхний уровень в настоящее время частично затоплен в результате катастрофы, случившейся в марте 1979 года. Общее количество добытой соли ныне составило около 100 млн.т, при современном ежегодном уровне добычи в 0,5 млн.т. Наряду с горно-промышленным значением месторождения карстовые озера Илецкого соляного поднятия являются крупнейшим региональным курортным центром, который посещают ежегодно 600-800 тыс. человек. Учитывая, что площадь поверхности соляного штока составляет около 2 км², а площадь поверхности озер не превышает 0,3 км², крайне высокая интенсивность использования ландшафта становится очевидной. Принимая во внимание крупное хозяйственное значение солянокупольных ландшафтов и интенсивность их использования, необходимо подчеркнуть как следствие высокую подвижность межкомпонентных взаимодействий и большую динамичность элементов этих ландшафтов. На Илецком месторождении на протяжении двух столетий произошла антропогенно-карстовая инверсия поверхности. Наиболее крупные катастрофические явления здесь отмечались дважды – в 1906 и 1979 гг. Причины последней катастрофы, очевидно, были следующими:

- недостаточно глубокое для существовавшего на Илецком соляном куполе гидрогеологического режима заложение «Старой камеры» и шахты №1;
- крутое падение соли (75-80°) и наличие в надшахтном целике кавернозного ангидрита и глинистых солей, имеющих высокую водопроницаемость;
- частичное вскрытие зоны трещиноватости камерами шахты №1 с постоянным притоком капиллярных вод как из зоны аэрации, так и рассолов озера Развал;
- постоянное воздействие агрессивных пресных вод речки Песчанки на поверхность северной части соляного купола.

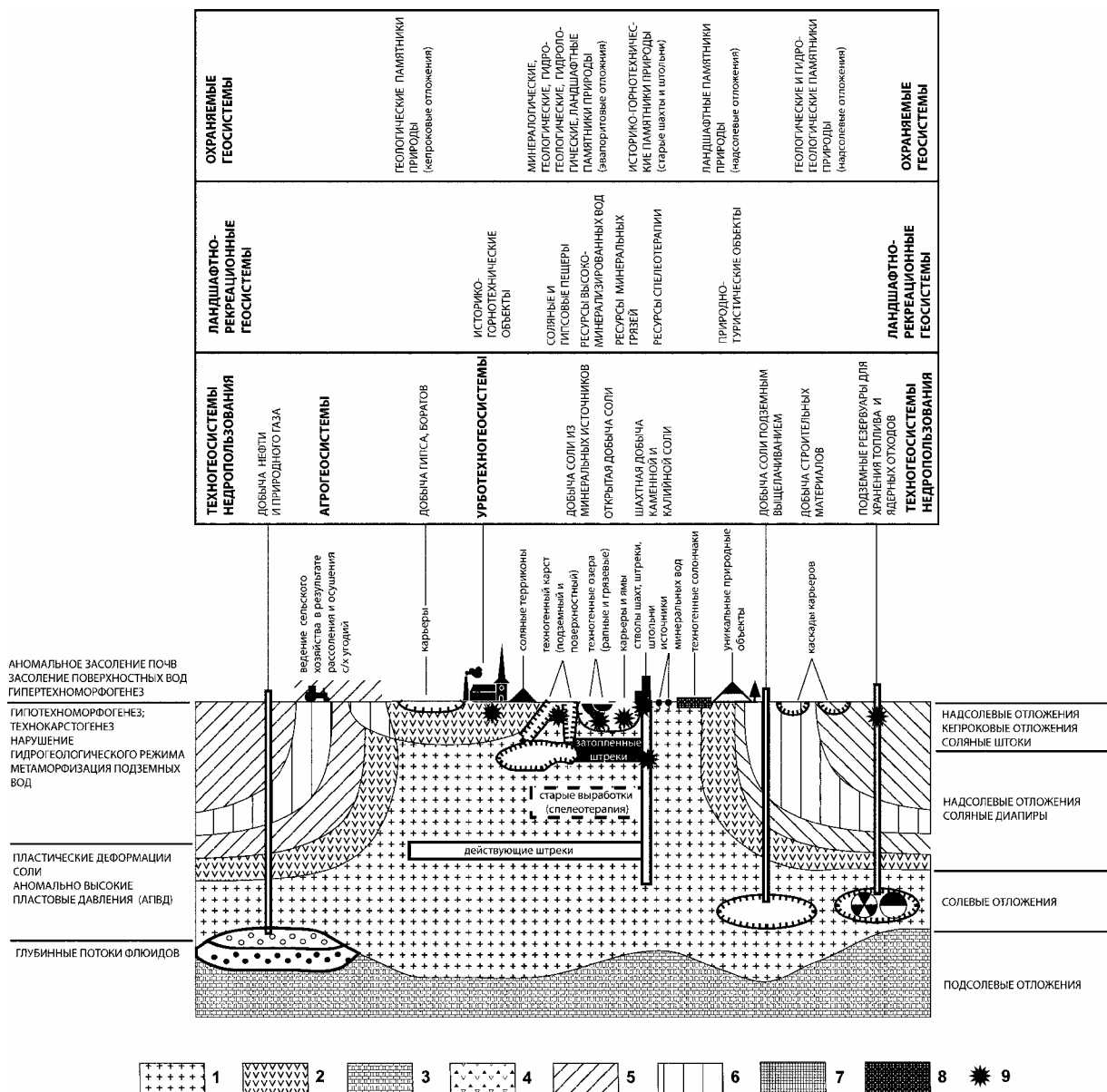


Рисунок 1. Различные виды использования солянокупольных геосистем и основные техногенные процессы их трансформации.

Условные обозначения: 1 – каменная соль (галит); 2. – гипсы и ангидриты; 3. – подсолевые отложения; 4. – гипсово-брекчиевые кепрковые отложения; 5-6.- надсолевые отложения; 7.- карстовые отложения; 8. – современные соленосные коры выветривания; 9.- техногенные катастрофы и аварии.

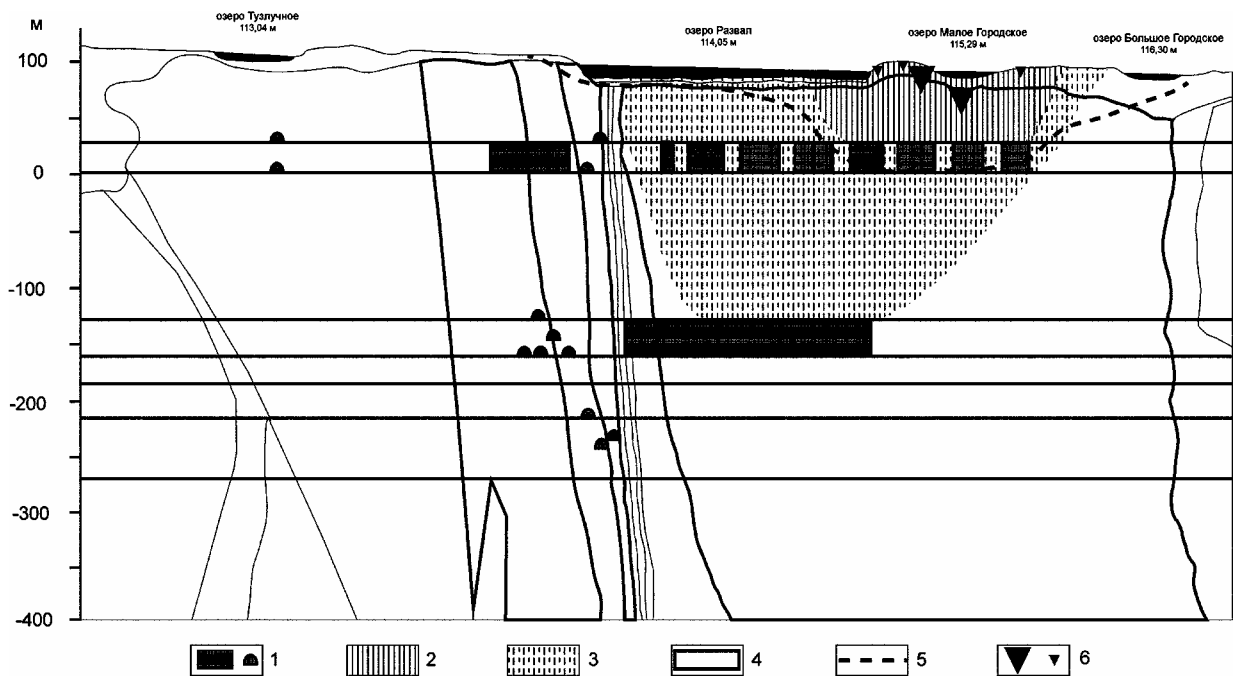


Рисунок 2. Антропогенная трансформация солянокупольного ландшафта Илецкого место рождения соли.

Условные обозначения: 1. существующие соляные камеры, штольни и штреки; 2. современная зона трещиноватости; 3. формирующаяся зона трещиноватости; 4. контуры основного соляного тела (светло-серый галит); 5. предполагаемый уровень формирующейся депрессионной воронки; 6. карстовые воронки и полости.

Новый этап техногенной трансформации рельефа Илецкого месторождения связан с тем, что весной 2003 года в восточной части озера Малое Городское образовалась крупная карстовая воронка диаметром около 100 м, а небольшие провалы покрыли перемычку между этим озером и Развалом. Последующая активизация произошла весной 2010 года, когда крупная воронка образовалась на берегу озера Развал как раз на месте пляжа. В итоге промежуток, отделяющий Развал от пресного Малого Городского уже составил менее 15 м. Вероятной причиной является постепенное снижение уровня озер в результате утечки рапы по системе трещин частично в подземные полости, частично в горизонты шахтного поля №1. При этом происходит обнажение межозерных целиков и их частичное растворение агрессивными талыми

водами. В связи с этим можно прогнозировать дальнейшее увеличение размеров озерных котловин вплоть до их объединения в одно озеро. Таким образом, объемы подземных полостей и глубина трещиноватости на Илецком месторождении неуклонно увеличиваются (рисунок 2), что и служит основной причиной дестабилизации гидрогеологического режима и активизации карста, грозящие уничтожить знаменитый курорт и приостановить добычу соли.

В целях предотвращения техногенной катастрофы на Илецком месторождении, на наш взгляд, следует выполнить следующие мероприятия: 1) изменить русло р.Песчанки, вынеся его за пределы контура соляного купола, т.е. северо-западнее Гипсовой горы; 2) объединить два озера – Развал и Малое Городское в одно тем самым исключив формирование пресного водоема в пределах соляного купола;

3) сформировать систему контурного дренажа поверхности соляного купола со сливом в его южной части; 4) устройство бетонной барражной завесы вокруг всего периметра озерной впадины; 5) соблюдение технологических размеров межкамерных и межэтажных целиков [7].

Образование гигантских карстовых воронок также отмечалось в пределах соляных поднятий США. Одним из примеров является обрушение в сентябре 2009 года поверхности соляного купола Daisetta в юго-восточном Техасе и возникновение провала 200 м в диаметре и почти 50 м глубиной. Как считается, причиной было разрушение целиков газохранилища. Еще более грандиозной была катастрофа на озере Пеньер (купол Джефферсон Айленд) в южной Луизиане, произошедшая 21 ноября 1980 года. В тот день при бурении, буровая установка, арендованная нефтегазовой компанией Техасо, пробила целик соляной шахты, находящейся под озером. Вода стала бурлить в гигантском водовороте, диаметр которого составил около 55 метров. Озеро было связано с находящимся в 20 км южнее Мексиканским заливом каналом. Когда вода из озера полностью ушла в соляную шахту, потекла в обратную сторону из залива в озеро, образовав у края озерной котловины 4 метровый водопад. В течение двух дней уровень воды в озере был восстановлен. Однако пресную воду в озере заменила морская вода, кардинально изменилась ихтиофауна, но в еще большей степени изменилась глубина озера – она увеличилась более чем в 100 раз!. Вместо прежних 3,3 м она ныне составляет 396 м [16].

Обладая высоким природно-ресурсным потенциалом, солянокупольные ландшафты во многих случаях следует рассматривать в качестве ядерных техногеосистем. Восходящие движения эвапоритовой толщи, как известно, ведут к продвижению к поверхности не только собственно пород соленосной формации, но и выводят на поверхность разнообразные надсолевые отложения, слои которых располагаются под различным углом и зачастую располагаются последовательно от наиболее молодых к древним, залегающим непосредственно на эвапоритах. Таким образом,

надсолевые отложения становятся зачастую доступными к разработке месторождениями строительных материалов. С другой стороны солянокупольных структуры служат коллекторами (накопителями) для нефтегазовых месторождений, являясь важнейшим типом нефтегазоносных структур. Геоморфологическая и ландшафтная индикация солянокупольных поднятий служит при этом одним из поисковых признаков месторождений углеводородов.

По экологическому состоянию техногеосистемы, сформировавшиеся в пределах солянокупольных ландшафтов могут быть разделены на следующие группы: 1) техногеосистемы соляных месторождений, сложившиеся несколько столетий назад, эксплуатирующиеся вплоть до последнего времени и ныне находящиеся в критическом (Соль-Илецк, Артемовск) или кризисном состоянии (Солотвино) в связи с антропогенно инициированными карстовыми процессами; 2) техногеосистемы законсервированных шахтных разработок каменной соли, сформировавшиеся без нарушения гидродинамического равновесия между поверхностными водами и эвапоритовым водоупорным слоем и существующие в относительно стабильном состоянии; 3) формирование двух- и более уровневых техногеосистем, приведшее к нарушению экологического равновесия и катастрофическим последствиям (катастрофа на озере Пеньер – купол Джефферсон-Айленд; карстовые процессы на нефтяных полях на куполах Саратога и Дайзетта в Техасе); 4) техногеосистемы хранилищ нефти, природного газа и ядерных отходов в соляных камерах, обладающие высокой потенциальной опасностью в связи с подвижностью соленосной толщи и слабой предсказуемостью формирования трещиноватости и подземных пустот (купол Горлебен в Северной Германии, купола Южного Техаса).

Заключение

1. Солянокупольные геосистемы являются одним из наиболее интенсивно используемых природных комплексов.

Спектр их вовлечения в сферу недропользования охватывает как разработку разнообразных полезных ископаемых, связанных с соленосными отложениями, так и минеральных ресурсов, месторождения которых контролируются соленосной толщей – нефти и природного газа, различных строительных материалов. Специфическим видом использования соляных куполов является формирование в их толще резервуаров для хранения нефти и природного газа. Широко используются рекреационные и бальнеологические ресурсы солянокупольных геосистем – соляные и грязевые озера, минеральные источники, подземные галереи для спелеотерапии и туризма, соляные пещеры. Определенную роль играют солянокупольные ландшафты в сельском хозяйстве – вследствие рассоления и осушения они формируют своеобразные очаги земледелия среди неудобий.

2. В пределах солянокупольных ландшафтов складываются многоуровневые антропогенные

геосистемы, которые усиливают интенсивность межкомпонентных взаимодействий и ускоряют процессы солянокупольного ландшафтогенеза, в особенности в условиях открытой или шахтной добычи соли.

3. При добыче соли на месторождениях купольного типа следует учитывать гидрогеологический режим в приповерхностных горизонтах, изменение геодинамики под влиянием старых горных выработок, пластические деформации соленосной толщи.

4. Природоохранное значение солянокупольных геосистем определяется этапами солянокупольного ландшафтогенеза – формированием уникальных природных комплексов соляных экстрюзий, гипсово-брекчиевого кепрока, выведенных на поверхность надсолевых пород различных формаций, вследствие чего существенно повышается геологическое разнообразие и под его влиянием увеличиваются общие показатели ландшафтного разнообразия в целом.

Литература:

1. Абрахманов А.Р., Абрахманов А.Р., Будкова Г.А. *Минеральные и грязевые озера Соль-Илецка. Соль-Илецк, 2005. 68 с.*
2. Дзенс-Литовский А.И. *Соляные озера СССР и их минеральные богатства. Л.: Недра, 1968. 119 с.*
3. Короткевич Г.В. *Соляной карст. Л.: Недра, 1970. 256 с.*
4. Косыгин Ю.А. *Соляная тектоника платформенных областей. М.;Л.: Гостоптехиздат, 1950, 248 с.*
5. Кошин А.Г., Мустель И.П., Куриленко В.В. *Предотвращение засоления подземных и поверхностных вод природными рассолами в районе Славянского месторождения каменной соли // Гидрогеология и охрана недр при разработке соляных месторождений. Труды ВНИИГ. Под ред. Роткина С.М. Л., 1976. С.72-77.*
6. Кузнецова С.В. *Аномалии геологической среды солянокупольных бассейнов и их влияние на природно-технические системы и среду обитания человека: Автореф.дис. ... д-ра геол.-мин.наук: Волгоград, 2000. 48 с.*
7. Мозер С.П. *Обоснование рациональных параметров технологии разработки каменной соли на месторождениях купольного типа: Дис. ... канд. техн. наук: 25.00.22/ Санкт-Петербург, 2004. С.25-34.*
8. Никитин И.И., Рускин Г.А. *Образование и исчезновение озера Развал (г.Соль-Илецк) // Изд. Всесоюз. геогр. общ-ва. 1981. Т.113. Вып.2. С. 163-166.*
9. Павлов А.О. *Отчет о детальной разведке лечебных грязей озер Тузлучное и Дунино, а также по изучению рапы озера Развал для обеспечения грязевыми и рапными ресурсами Соль-Илецкой курортной зоны Оренбургской области. Москва, 1993.*
10. Синяков В.Н., Беляева Ю.Л., Кузнецова С.В. *Инженерно-геологические и геоэкологические проблемы строительства современных полигонов хранения твердых бытовых отходов в Западном Прикаспии. М.: Высшая школа, 2004. 220 с.*

11. Синяков В.Н., Старовойтов М.К., Полянинов Л.Я., Кузнецова С.В., Беляева Ю.Л. *Геоэкологические проблемы подземных и наземных накопителей жидких отходов в солянокупольных областях.* М.: НИИ-Природа, 2001. 153 с.
12. Харин В.В. *О доразведке глубоких горизонтов Илецкого месторождения каменной соли.* Оренбург, 1984.
13. Collins E.W. *Surfical evidence of tectonic activity and erosion rates, Palestine, Keechi, and Oakwood salt domes, East Texas /Geological Circular 82-3. Bureau of Economic Geology. Austin, Texas, 1982. 40 p.*
14. Jackson M.P.A., Seni S.J. *Atlas of salt domes in the East Texas basin. Austin, Texas: The University of Texas, 1984. 102 p.*
15. Jackson M.P.A., Talbot C.J. *A glossary of salt tectonics: Geological Circular 91-4. Austin: Bureau of Economic Geology, University of Texas. 1991. 44 p.*
16. Warren J. *Evaporites: Sediments, Resources and Hydrocarbons. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, 2006. 1036 p.*