

**К.В. МЯЧИНА\*, В.П. ПЕТРИЩЕВ\*, А.А. ЧИБИЛЁВ\*, Е.В. КРАСНОВ\*\***

\*Институт степи УрО РАН, 460000, Оренбург, ул. Пионерская, 11, Россия, mavicsen@gmail.com, wadpetr@mail.ru, orensteppe@mail.ru

\*\*Балтийский федеральный университет им. И. Канта, 236016, Калининград, ул. А. Невского, 14, Россия, ecogeography@rambler.ru

## ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ И ПРИНЦИПЫ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ТЕХНОГЕОСИСТЕМ НЕФТЕГАЗОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

*На основе полевых и камеральных исследований с использованием данных дистанционного зондирования 12 ключевых участков в контурах нефтегазопромысловых площадей Волго-Уральского степного региона авторы характеризуют стадильную структуру формирования техногеосистем нефтегазовых месторождений (ТГСНМ). Под ТГСНМ предлагается понимать целостные совокупности модифицированных природных компонентов и технических сооружений, функционирующих как единое целое в процессе освоения и разработки нефтегазового месторождения. Выделены два основных принципа формирования и функционирования ТГСНМ — темпоральной стадильности развития, определяемой сроками освоения месторождения и уровнем (разнообразием) техногенной нагрузки на ландшафт, и принцип обратимой и необратимой трансформации компонентов ландшафта, ведущей к изменению взаимных вещественно-энергетических связей его вертикальной и горизонтальной структур. Бессистемное диффузно-линейное распространение структурных звеньев нефтегазопромыслов формирует специфическое пространство техногенного влияния, характеризующееся наложением, пересечением, совмещением зон влияния объектов нефтегазодобывающего производства. Выделено пять стадий трансформации исходного ландшафта с различной степенью вовлечения компонентов в процесс трансформации. В исходную ландшафтную структуру включается техногенный блок, в том числе с необратимым внедрением конструкций ликвидированных и/или законсервированных скважин на завершающей стадии функционирования ТГСНМ. Таким образом проявляется эквивалентность — равнозначное для ландшафтов завершение процесса нефтегазодобычи, происходит смена природного инварианта природно-техногенным. Анализ особенностей и выявление закономерностей функционирования нефтегазопромыслов обусловили появление предлагаемой концепции формирования техногеосистемы нефтегазового месторождения, обоснование оптимизации нефтегазового природопользования с учетом системных принципов развития и стадильности ТГСНМ.*

Ключевые слова: нефтегазодобыча, ландшафты степного региона, техногеосистема нефтегазового месторождения, принцип стадильности, смена инварианта.

**K.V. MYACHINA\*, V.P. PETRISHCHEV\*, A.A. CHIBILEV\*, E.V. KRASNOV\*\***

\*Institute of Steppe, Ural Branch, Russian Academy of Sciences, 460000, Orenburg, ul. Pionerskaya, 11, Russia, mavicsen@gmail.com, wadpetr@mail.ru, orensteppe@mail.ru

\*\*Immanuel Kant Baltic Federal University, 236016, Kaliningrad, ul. A. Nevskogo, 14, Russia, ecogeography@rambler.ru

## THE FEATURES OF FORMATION AND FUNCTIONING PRINCIPLES OF OIL AND GAS FIELD TECHNOGEOSYSTEMS

*We authors characterize the stadial structure of the formation of technogeosystems of oil and gas fields (TGSOGF) based on field and laboratory studies using remote sensing data from 12 key study plots within of oil and gas fields in the Volga-Ural steppe region. It is suggested that TGSOGF should be considered to mean a complete set of modified natural components and technological facilities that function as a single whole in the process of development of an oil and gas field. Two main principles of formation and functioning of TGSOGF were highlighted. One principle implies temporal stadiality of development determined by the period of development of the field and by the level (variety) of technogenic load on the landscape. The other principle is the reversible and irreversible transformation of landscape components, leading to a change in mutual physical-energy connections of its vertical and horizontal structures. The diffuse-linear distribution of structural links of oil and gas fields forms a specific space of technogenic influence, characterized by the overlap, intersection, and combination of the influence zones of oil and gas production facilities. There are five stages of the initial landscape transformation with varying degrees of involvement of*

*components in the transformation process. The initial landscape structure includes a technogenic block, including with the irreversible introduction of structures of liquidated and/or temporarily closed wells at the final stage of field development. Thus the equifinality is manifested, which means the completion of the oil and gas production process, which is equivalent for landscapes, and the natural invariant is replaced by a natural-technogenic one. Analysis of the characteristics and identification of regularities of functioning of oil and gas fields gave rise to the proposed concept of the formation of TGSOGF, the rationale for optimization of oil and gas fields nature management with respect to the system development principles and stages of TGSOGF.*

**Keywords:** oil and gas production, steppe landscapes, technogeosystems of oil and gas field, principle of stadiality, change of invariant.

## ВВЕДЕНИЕ

Добыча нефти и газа, осуществляемая в 54 странах мира, — один из основных факторов трансформации ландшафтов, наряду с урбанизацией и агропромышленным производством. Россия входит в тройку мировых лидеров по объемам добычи углеводородного сырья, в результате которой во многих регионах сформировались значительные по площади модифицированные ландшафты. Изменение структуры и динамики ландшафтных комплексов и связанные с этим геоэкологические и социально-экономические последствия входят в ряд острейших мировых проблем [1]. Исследователи из стран, ведущих добычу нефти и газа, работают над созданием более эффективных стандартов для мониторинга геоэкологической ситуации в районах нефтегазодобычи и обоснованием путей оптимизации недропользования [2–4]. В качестве основы оптимизации необходима разработка единого представления о закономерностях развития и функционирования ландшафтов нефтегазодобывающих регионов, с учетом особенностей их техногенной трансформации и факторов природной дифференциации. Совокупность технологических и сопутствующих объектов и процессов нефтегазодобычи, структурно-динамической специфики ландшафтов представляется авторами в виде единой пространственно-темпоральной системы, функционирующей в соответствии с системными принципами. Теоретические вопросы геотехносистемного направления исследований воздействия нефтегазопромысловых технических систем на ландшафты начали обсуждаться еще в 1960-х гг. [5–8]. Системный подход к изучению нарушенных нефтегазодобычей территорий в последнее время ставится одной из основных задач при исследовании геоэкологических последствий данной отрасли [9–12].

## ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Около четвертой части всех российских месторождений расположены в зоне степей. Волго-Уральский степной нефтегазоносный регион, выбранный в качестве репрезентативной территории исследования, включает части Прикаспийской, Северо-Кавказской и Волго-Уральской нефтегазоносных провинций. В административном отношении этот нефтегазоносный регион охватывает северо-восточную часть Волгоградской области, восточную часть Саратовской, южную часть Самарской и Оренбургскую область (рис. 1). Добыча нефти на территории исследования ведется с начала 1940-х гг., что привело к формированию природно-техногенных комплексов со сложной структурой и показательным вариационно-динамическим рядом трансформированных ландшафтов.

Различаясь по литоморфным ландшафтообразующим факторам, геосистемы степной зоны России обладают безусловным генетическим единством, сложившимся в результате межкомпонентных взаимодействий. Межкомпонентные связи определяют общие черты степных геосистем: семиаридный климат с высокой циркуляционной активностью воздушных масс, слабую расчлененность рельефа, безлесье равнинно-холмистых водоразделов с преобладанием низкорослой травянистой растительности, недостаточную и неравномерную обводненность (преобладание испаряемости над осадками формирует небольшой объем поверхностного стока).

В Волго-Уральском степном регионе разрабатываются более 300 нефтегазовых месторождений. Для исследования были выделены 12 ключевых участков площадью 50–150 км<sup>2</sup>, расположенных внутри нефтегазопромысловых контуров (см. рис. 1), которые обследовались в ходе полевых выездов и с помощью данных дистанционного зондирования. При обследовании участков выявлялись и анализировались наиболее существенные факторы, определяющие закономерности трансформации структуры исходных ландшафтов, оценивались зональные характеристики территории, способствующие развитию определенной схемы происходящих изменений.

Характеристики ключевых участков и оцениваемые параметры представлены в табл. 1.

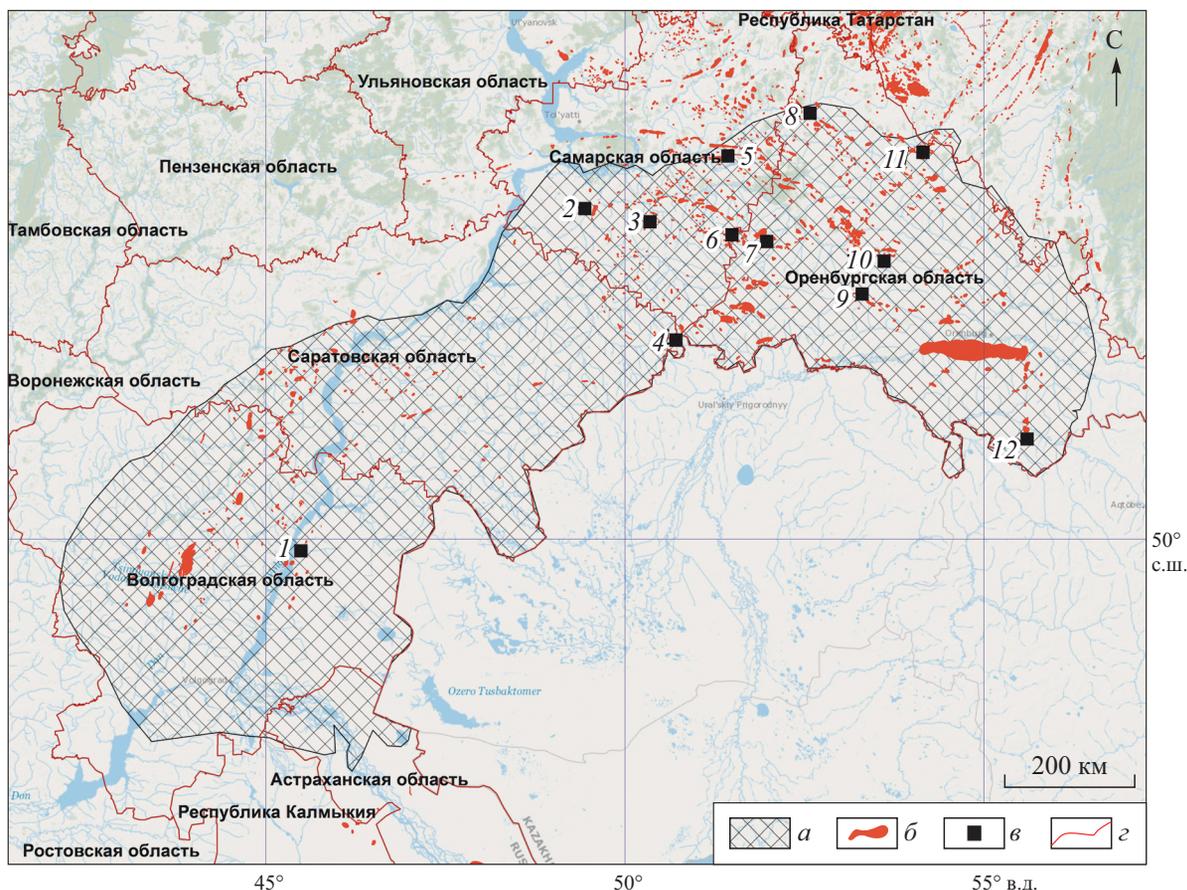


Рис. 1. Территория исследования.

*a* — Волго-Уральский степной регион; *b* — ареалы нефтегазовых месторождений (на основе данных Федерального агентства по недропользованию «Роснедра»); *v* — ключевые участки 1–12 (см. табл. 1); *z* — границы субъектов Российской Федерации.

Таблица 1

**Ключевые участки оценки факторов трансформации ландшафтов степной зоны в условиях нефтегазодобычи**

Номер участка	Год начала разработки недр	Площадь, км <sup>2</sup>	Стадия развития ТГСНМ	Основные оцениваемые параметры
1	1989	100	I	Количество и плотность площадок с объектами нефтегазопромысла; длина и плотность дорожно-транспортной сети; общая площадь нарушенных земель; показатели фрагментации ландшафтов; склоново-экспозиционная характеристика местоположений объектов нефтегазопромысла; размещение объектов нефтегазопромысла относительно водоемов и водотоков; очаги тепловых аномалий, создаваемые факельными установками
2	1959	100	IV	
3	1977	100	III	
4	1990	100	I	
5	1947	100	III	
6	1973	50	II	
7	1970	150	III	
8	1984	100	II	
9	1999	100	I	
10	1974	100	III	
11	1961	100	IV	
12	1997	100	II	

**РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ**

Трансформация ландшафтов степной зоны Волго-Уральского региона, происходящая в условиях разработки месторождений нефти и газа, укладывается в определенную структурно-динамическую модель, обусловленную особенностями процесса нефтегазодобычи и ландшафтно-экологическими



Рис. 2. Последствия разработки месторождений нефти и газа — формирование техногеосистем.

характеристиками территории. В регионе крайне незначительно выражены естественные географические барьеры: преобладание низкорусной растительности, слабая расчлененность рельефа, разреженная гидрографическая сеть и отсутствие полноводных рек способствуют бесконтрольному и бессистемному расширению площадей нарушенных земель, происходящему в основном из-за образования стихийных подъездных путей к объектам нефтегазопромыслов, свободного распространения зон геохимического и теплового загрязнения, других негативных процессов.

На рис. 2 представлена схема, в блоках которой отражены последствия, наиболее активно и масштабно проявляющиеся в процессе добычи нефти и газа. Каждый блок схемы сам по себе не уникален: несомненно, аналогичные последствия сопровождают многие виды техногенного воздействия на ландшафты. Однако именно представленная совокупность процессов отражает складывающуюся на территориях нефтегазовых месторождений структуру специфических взаимодействий, формируя и характеризую целостную пространственно-временную систему — техногенную геосистему (техногеосистему). В данном случае допустимо понятие «техногеосистема нефтегазового месторождения» (ТГСНМ).

Под техногеосистемой нефтегазового месторождения, которая является частной категорией техногенных геосистем, предлагается понимать целостные совокупности модифицированных природных компонентов и технических сооружений, функционирующих как единое целое в процессе освоения и разработки нефтегазового месторождения. Ведущими элементами преобразования структуры исходного ландшафта выступают объекты инфраструктуры нефтегазовых месторождений — объекты непосредственной добычи углеводородов (скважины) и вспомогательные (трубопроводы, подъездные пути, шламовые амбары, бытовые помещения и пр.).

### ПРИНЦИПЫ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ТГСНМ

**Темпоральные стадии развития ТГСНМ (модификации), определяемые сроками (давностью) освоения месторождения и уровнем (разнообразием) техногенной нагрузки на ландшафт.** Основная задача при построении динамического ряда природных комплексов, измененных техногенным воздействием, — выявление динамических стадий нарушенности ландшафтов и соответствующего режима воздействия, вызвавшего эти нарушения, т. е. определение функции (режима воздействия), переменные которой — производные основного состояния ландшафтов [13]. Схема, иллюстрирующая стадии существования ТГСНМ, в большинстве случаев представляет собой совокупность этапов освоения месторождения и насыщения его территории объектами инфраструктуры нефтегазопромысла (рис. 3). Основное авторское допущение заключается в том, что закономерности пространственной и временной трансформации ландшафтов степной зоны в условиях нефтегазодобычи подобны таковым на ключевых участ-

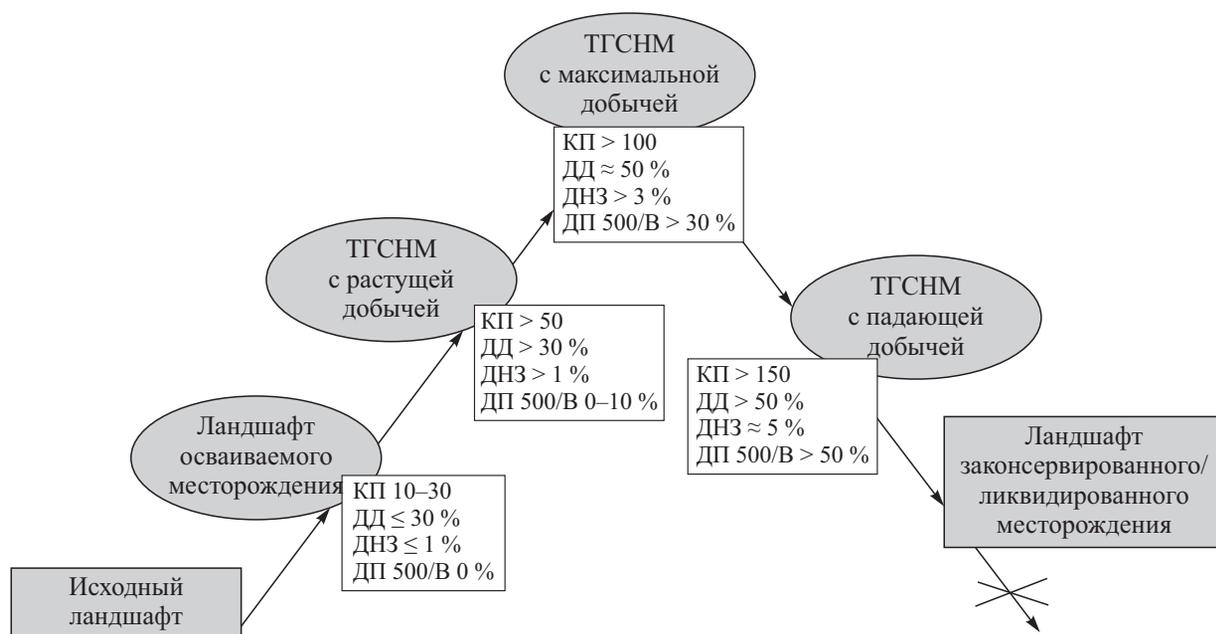


Рис. 3. Стадии развития техногеосистемы нефтегазового месторождения.

КП — количество площадок со скважинами и другими инфраструктурными объектами; ДД — доля дорожной сети месторождения от ее общей плотности на ключевом участке; ДНЗ — доля нарушенных земель; ДП 500/В — доля полигонов со скважинами и другими объектами, расположенными ближе 500 м от границ водоемов и/или водотоков.

ках исследования. Схема характеризует степень вовлечения компонентов исходных ландшафтов в процесс трансформации. Динамика структуры и уровня трансформации ландшафта на каждой стадии существования ТГСНМ определяется рядом показателей: изменением площади нарушенных земель; плотностью дорожно-транспортной сети (ДТС); плотностью объектов недропользования (площадок); долей объектов, размещенных вблизи водоемов и водотоков; долей объектов, размещенных на малопригодных со склоново-экспозиционной точки зрения территориях.

Сравнительный анализ трансформационных процессов на обследованных ключевых участках позволяет выделить основные стадии развития ТГСНМ (см. рис. 3):

- исходный ландшафт осваиваемого нефтегазового месторождения (I стадия);
- ТГСНМ с растущей добычей (II стадия, начальная);
- ТГСНМ с максимальной добычей (III стадия, наибольшей трансформации);
- ТГСНМ с падающей добычей (IV стадия, сокращения трансформации);

– посттехногенный ландшафт ликвидированного (законсервированного) месторождения (V стадия, завершения активной техногенной нагрузки).

**Необратимая трансформация компонентов исходного ландшафта, ведущая к изменению вещественно-энергетических и геоинформационных связей его вертикальной и горизонтальной структур.** Трансформация структуры ландшафтов ТГСНМ носит диффузно-линейный характер, что приводит к формированию своеобразных агломераций, насыщенных многочисленными техническими элементами, хаотично распределенными по обширной территории. Бессистемное диффузно-линейное распространение структурных звеньев нефтегазопромыслов формирует специфическое пространство техногенного влияния, характеризующееся наложением, пересечением, совмещением зон влияния объектов нефтегазодобывающего производства.

Многофакторное воздействие на структуру ландшафта обусловлено как непосредственным размещением объектов нефтегазодобычи, так и формированием и интерференцией разнообразных геополей, изменяющих естественные рубежи ландшафта. Геополя представляют собой геохимические ареалы рассеяния веществ, связанных с добычей углеводородов, на геофизически первичную структуру ландшафтов. Согласно Н.П. Солнцевой [14], ареалы техногенного преобразования, формируемые одним и тем же техническим объектом нефтегазодобычи или техногенным геохимическим потоком, создают

сложно устроенную, но единую территориальную структуру — техногенную ландшафтно-геохимическую систему, которая представляет собой комплексную морфо-геохимическую аномалию, являющуюся локализованной в пространстве ответной реакцией среды на техногенное воздействие объекта или комплекса объектов нефтегазопромысла. О формировании локальных ареалов техногенной органики в зонах воздействия нефтепромысловых объектов говорится также в исследованиях С.А. Бузмакова [15]. Соответственно, границы ТГСНМ не всегда совпадают с границами месторождения и/или земельного отвода и чаще соответствуют нефтегазовым полям, концентрирующим основную инфраструктуру месторождения.

В целом структура ТГСНМ определяется морфологией исходного ландшафта. За элементарную единицу ТГСНМ принимается природно-техническая фация (фации площадок скважин, дорожно-транспортные фации, фации трубопроводов, ЛЭП и др.). Объекты нефтегазовой инфраструктуры в границах того или иного урочища или фации образуют его новый элемент, являющийся источником конъюгированного воздействия [16]. Такое воздействие прослеживается либо в виде рядов трансформирующихся по цепочке урочищ (например, аварийная скважина на водоразделе вызывает серию изменений в ряду нижележащих ландшафтно-геохимических фаций), либо в форме взаимоперекрывающихся геополей, центром которых являются, например, буровые установки. Площади нарушенных земель по мере освоения месторождения расширяются, иногда смыкаются. Сети трубопроводов, ЛЭП и автомобильных дорог играют связующую роль, объединяя ядра недропользования в единую техногеосистему. При этом дорожно-транспортная сеть ТГСНМ на четверть состоит из стихийных подъездных путей, создаваемых водителями ведомственного большегрузного транспорта для удобства передвижения.

Между факторами, определяющими процесс функционирования сложных систем, как правило, существует стохастическая связь. В случае техногеосистем нефтегазовых месторождений показатели трансформации нефункционально связаны с факторами воздействия, например с годом начала разработки месторождения. По ключевым участкам был выполнен анализ статистической связи показателей трансформации с годом начала разработки месторождения (табл. 2).

Уровень линейной корреляции ( $r$ ) показателей трансформации с годом начала разработки месторождения, близкий к  $-1$ , характеризует обратную взаимосвязь между исследуемыми величинами: сильную (значение  $r$  от  $-0,7$  и менее), средней силы ( $r = -0,66$ ), слабую ( $r = -0,23$ ). Отсутствие пропорциональной зависимости указывает на влияние и других факторов на развитие показателей трансформации. Значимость модели зависимости отчасти определяется величиной коэффициента детерминации ( $R$ -квадрат): чем он выше, тем выбранная модель более корректна в объяснении зависимости между сопоставляемыми параметрами. Например, зависимость общей площади нарушенных земель от стадии разработки месторождения составляет 77 % ( $R$ -квадрат = 0,77), зависимость доли нефтегазовых дорог — 87 % ( $R$ -квадрат = 0,87). Однако в мировой практике прослеживается тенденция к отказу от концепции статистической значимости в связи с тем, что статистически незначимый результат не подтверждает нулевую гипотезу о том, что нет влияния некоторого фактора на измеренные результаты [17]. Поэтому показатели трансформации с низким значением коэффициента детерминации, не включенные в модель стадийного развития ТГСНМ (например, доля площадок с объектами месторождения на участках с уклоном рельефа более 3 %), требуют лишь более подробного анализа и не должны исключаться окончательно.

Таблица 2

**Характеристики связи показателей трансформации ландшафтов ключевых участков с годом начала разработки месторождений**

Показатель трансформации	Значения показателя линейной корреляции Пирсона, $r$	Значение $R$ -квадрата (коэффициент детерминации)
Количество площадок с объектами месторождения	-0,66	0,44
Плотность ДТС	-0,70	0,49
Доля плотности специализированных дорог месторождения в общей плотности ДТС	-0,93	0,87
Доля нарушенных земель	-0,88	0,77
Доля полигонов с объектами, размещенными в 500 м от водоемов и водотоков	-0,84	0,71
Доля площадок с объектами, расположенными на участках с уклоном рельефа более 3 %	-0,23	0,05

На формирование ТГСНМ значительно влияет период начала освоения месторождения: показатели трансформации существенно варьируют, достигая максимума на третьей стадии развития техногенеза. Наибольшее количество площадок объектов нефтегазопромыслов, как правило, фиксируется на староосвоенных месторождениях (см. табл. 1). Высокие показатели плотности дорожной сети и фрагментации связаны со стадиями максимальной и (иногда) падающей добычи, если истощение легкоизвлекаемых запасов углеводородов компенсируется нарастанием количества площадок с объектами месторождения и других элементов инфраструктуры. Соответственно, значительная часть показателей трансформации взаимозависима: рост плотности нефтегазопромысловой дорожно-транспортной сети связан с увеличением количества площадок объектов, площадь нарушенных земель и фрагментация ландшафтов — с плотностью инженерной инфраструктуры месторождения, сохранение биоразнообразия зависит от степени фрагментации ландшафтов, активизация экзогенных процессов — от количества объектов на малопригодных участках (с уклоном рельефа более 3 %, на склонах южных экспозиций) и т. д. Каждая модификация ТГСНМ соответствует определенному уровню техногенного воздействия, изменению функционально-динамических связей между его компонентами. На обширных нефтегазоносных площадях, как правило, наблюдается сосуществование всех или некоторых стадий развития техногеосистемы, зачастую со смешением, взаимопроникновением, кумулятивной синергией воздействия.

Анализ стадийальных смен ТГСНМ осуществлялся с учетом связи каждой стадии с исходным инвариантом. В ряде случаев (незначительные и/или трудноизвлекаемые запасы, пространственно-географические особенности местоположения объектов нефтегазопромысла, соблюдение компанией-недропользователем экологических нормативов и требований) все стадии существования ТГСНМ на территориях месторождений могут не проявляться. Однако достижение завершающей стадии — ликвидированного (законсервированного) месторождения — неизбежный и обязательный итог при любом варианте техногенного развития. Независимо от длительности периода эксплуатации месторождения, глубины и многообразия техногенного воздействия, проводимых рекультивационных мероприятий ландшафты выработанных и ликвидированных объектов нефтегазодобычи не возвращаются к своему исходному состоянию. В исходную ландшафтную структуру необратимо внедряется технический блок — конструкции ликвидированных и/или законсервированных скважин. Таким образом проявляется так называемая эквивинальность — равнозначное для ландшафтов завершение процесса нефтегазодобычи. В этом же контексте выступают остатки полуразрушенной инфраструктуры нефтегазопромыслов, а также ряды сукцессионных ландшафтов, если следовать утверждению В.С. Преображенского [18] о необратимости таких модификаций ландшафтов, время существования которых превышает продолжительность жизни одного человеческого поколения. Конечно, период восстановления некоторых модификаций ландшафтов не определяется длительностью жизни одного или даже двух поколений людей, поэтому подобные модификации могут лишь казаться устойчивыми и необратимыми. Тем не менее современные технологии нефтегазодобычи в степной зоне повсеместно изменяют структуру исходного ландшафта, что указывает на смену природного инварианта природно-техногенным.

### СВОЙСТВА ТГСНМ

Исходя из вышеизложенного можно заключить, что рассмотренная совокупность природных и технических элементов, размещенная и функционирующая на нефтегазоносной территории, обладает следующими интегральными свойствами, присущими пространственно-темпоральным системам:

а) эмерджентностью, обеспеченной единой целью и характерными функциями. Целостность геосистемы поддерживается взаимными вещественно-энергетическими и информационными связями ее элементов, в результате чего конкретная геосистема приобретает новые (системные, эмерджентные) свойства, не сводимые к простой сумме свойств ее элементов [19]. Как правило, их выявление требует осмысления взаимовлияния элементов, учета пространственно-географических отношений, анализа реакции исходных ландшафтов на внешние воздействия. Примерами наиболее значимых эмерджентных свойств ТГСНМ могут служить:

— локальный климат территории, модифицируемый эндогенными источниками подогрева (факельными установками для сжигания попутного нефтяного газа) и переформированием микроклимата урочищ с масштабной дигрессией растительных сообществ (вплоть до катаценоза);

— биологическое разнообразие, трансформированное и деградированное с появлением фрагментации исходных ландшафтов и новых рудеральных сообществ;

– повышенная сейсмическая активность, обусловленная снижением пластового давления и изменением геодинамики подземных вод с повышением риска наведенных землетрясений [20];

б) структурностью, являющейся результатом упорядоченной пространственно-временной организации и обуславливающей поведение системы;

в) уникальностью;

г) иерархичностью (соподчиненностью элементов системы);

д) территориальностью — возможностью выделения пространственных границ геосистемы, определяющейся зависимостью ее формирования и функционирования от размещения относительно основополагающего начала (здесь — нефтегазовой залежи);

е) динамичностью — развитием геосистемы во времени и пространстве.

Модель ТГСНМ обладает следующими основными характеристиками моделей: целенаправленностью, интерпретируемостью, структурностью, эволюционируемостью [21]. Последнее свойство определяет возможность корректировки модели в случае появления новых данных. Предполагается, что предложенная модель ТГСНМ поможет понять и выстроить пути максимально эффективной оценки, контроля и снижения уровня трансформации ландшафтов в условиях нефтегазодобычи, что будет способствовать приведению процессов данной отрасли к максимально экологичным и управляемым формам.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализ особенностей и закономерностей функционирования нефтегазопромыслов, завершившийся синтезом в виде предлагаемой концепции формирования техногеосистемы нефтегазового месторождения, позволил обосновать подход к оптимизации нефтегазового природопользования с учетом системных принципов развития и стадийности ТГСНМ.

Целесообразно представлять каждую стадию развития ТГСНМ в виде отдельной системы, нуждающейся в особом режиме регулирования природопользования, индивидуальной гибкой схеме природоохранных мероприятий, определяемых независимо от недропользователя в ходе научно обоснованного геоинформационного сопровождения. Предложенные подходы могут быть использованы при разработке экологических ограничений на стадии проектирования и освоения новых нефтегазовых месторождений, оценке экологических рисков и обосновании мероприятий по экологической реабилитации нарушенных территорий.

*Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (20-05-00122А, ГР АААА-А20-120011390069-6), а также в рамках государственного задания Института степи УрО РАН (ГР АААА-А21-121011190016-1).*

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Jones N.F., Pejchar L. Comparing the Ecol. Impacts of Wind and Oil & Gas Development: A Landscape Scale Assessment // PLOSone. — 2013. — Vol. 8 (N 11) [Электронный ресурс]. — <https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0081391> (дата обращения 21.08.2019).
2. Liang Y., Zhang X., Wang J., Li G. Spatial variations of hydrocarbon contamination and soil properties in oil exploring fields across China // Journ. of Hazardous Materials. — 2012. — N 241. — P. 371–378.
3. Preston T.M., Kim K. Land cover changes associated with recent energy development in the Williston Basin; Northern Great Plains, USA // Science of the Total Environment. — 2016. — N 566. — P. 1511–1518.
4. Baynard C.W., Mjachina K.V., Richardson R.D., Schupp R.W., Lambert J.D., Chibilyev A.A. Energy development in Colorado's Pawnee National Grasslands: Mapping and measuring the disturbance footprint of renewables and non-renewables // Environmental Management. — 2017. — Vol. 59, N 6. — P. 995–1016.
5. Дьяконов К.Н. Антропогенные ландшафты и геотехнические системы // Материалы II регион. конф. «Антропогенные ландшафты центральных черноземных областей и прилегающих территорий». — Воронеж: Изд-во Воронеж. ун-та, 1975. — С. 61–73.
6. Ретеюм А.Ю., Мухина Л.И., Долгушин И.Ю., Куницын Л.Ф., Граве Л.М. Природа, техника, геотехнические системы. — М.: Наука, 1978. — 151 с.
7. Булатов В.И. Системный подход в антропогенном ландшафтоведении // Вопросы антропогенного ландшафтоведения. — Воронеж: Изд-во Воронеж. ун-та, 1972. — С. 88–96.
8. Козин В.В. Ландшафтные исследования в нефтегазоносных районах: Учебное пособие. — Тюмень: Изд-во Тюмен. ун-та, 1984. — 60 с.

9. **Соромотин А.В.** Воздействие добычи нефти на таежные экосистемы Западной Сибири. — Тюмень: Изд-во Тюмен. ун-та, 2010. — 320 с.
10. **Козин В.В., Чихарев В.А.** Пространственная сопряженность элементов газотранспортной геотехнической системы в криолитозоне Западной Сибири // Вестн. Тюмен. ун-та. Науки о Земле. — 2013. — № 4. — С. 41–49.
11. **Булатов В.И., Игенбаева Н.О.** Техногенные ландшафты и геотехнические системы нефтегазового региона (на примере ХМАО-Югры) // Современное ландшафтно-экологическое состояние и проблемы оптимизации природной среды регионов: Материалы XIII Междунар. ландшафт. конф. — Воронеж: Истоки, 2018. — С. 306–308.
12. **Мячина К.В., Краснов Е.В.** Концепция сбалансированного недропользования в степной зоне Волго-Уральского региона // Проблемы региональной экологии. — 2018. — № 4. — С. 74–82.
13. **Дончева А.В.** Функционально-динамические ряды техногенно-измененных природных комплексов // Вопросы географии. Влияние человека на ландшафт. — 1977. — № 106. — С. 83–90.
14. **Солнцева Н.П.** Добыча нефти и геохимия природных ландшафтов. — М.: Изд-во Моск. ун-та, 1998. — 376 с.
15. **Бузмаков С.А., Кулакова С.А.** Формирование природно-техногенных экосистем на территории нефтяных месторождений (на примере Пермского края) // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. — 2017. — № 1. — С. 20–24.
16. **Сыресскина А.А., Хромых О.В.** Ландшафтно-экологический анализ территории Южно-Балыкского нефтяного месторождения // Современные проблемы географии и геологии к 100-летию открытия естественного отделения в Томском государственном университете: Материалы IV Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием. — Томск: Изд-во Том. ун-та, 2017. — С. 105–108.
17. **Amrhein V., Greenland S., McShane B.** Scientists rise up against statistical significance // Nature. — 2019. — N 567. — P. 305–307.
18. **Преображенский В.С.** Поиск в географии. — М.: Просвещение, 1986. — 223 с.
19. **Хорошев А.В.** Современные направления структурного ландшафтоведения // Изв. РАН. Сер. геогр. — 2016. — № 3. — С. 7–15.
20. **Нестеренко Ю.М.** Проблемы геодинамической безопасности при эксплуатации месторождений углеводородов // Литосфера. — 2012. — № 2. — С. 173–177.
21. **Цветков В.Я.** Информационные модели и геоинформационные модели // Образовательные ресурсы и технологии. — 2016. — № 4 (16). — С. 114–120.

*Поступила в редакцию 01.06.2019*

*После доработки 22.10.2019*

*Принята к публикации 25.09.2020*