

2
НОМЕР

БОНЦ

ISSN 2304-9081

ЭЛЕКТРОННЫЙ ЖУРНАЛ

<http://www.elmag.uran.ru>



БЮЛЛЕТЕНЬ

ОРЕНБУРГСКОГО НАУЧНОГО ЦЕНТРА УРО РАН



СТАЛИНГРАДСКАЯ БИТВА

2025

УЧРЕДИТЕЛЬ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ
ОРЕНБУРГСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР
УРАЛЬСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК

© Н.В. Соломатин, 2025

УДК 502.7(502.1):553.98

Н.В. Соломатин

**ТЕХНОЛОГИЯ ИДЕНТИФИКАЦИИ ПРИРОДНО-РЕСУРСНОГО ПОТЕНЦИАЛА
ПРИ ГЕОДИНАМИЧЕСКОЙ ЭКОЛОГО-ХОЗЯЙСТВЕННОЙ ОЦЕНКЕ
ТЕРРИТОРИИ АЛЕКСАНДРОВСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ УГЛЕВОДОРОДОВ**

Оренбургский федеральный исследовательский центр УрО РАН (Отдел геоэкологии),
Оренбург, Россия

В статье исследовано использование агрегированных моделей для геодинамической оценки экологического и хозяйственного потенциала территории разрабатываемого месторождения углеводородов, включающих величины падений пластового давления от начального уровня. Значительный потенциал разработанной технологии идентификации и предложенных моделей состояния предполагает необходимость дальнейших исследований и обогащения создаваемого научного направления. Результаты исследования позволяют построить более эффективную программу добычи углеводородов.

Ключевые слова: агрегированная модель, идентификация, природно-ресурсный потенциал, эколого-хозяйственная оценка, месторождение углеводородов.

N.V. Solomatin

**TECHNOLOGY OF IDENTIFICATION OF NATURAL RESOURCE POTENTIAL IN
GEODYNAMIC ECOLOGICAL AND ECONOMIC ASSESSMENT OF THE TERRI-
TORY OF THE ALEKSANDROVSKOYE HYDROCARBON DEPOSIT**

Orenburg Federal Research Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences (Department of Geoecology), Orenburg, Russia

The article examines the use of aggregated models for geodynamic assessment of the ecological and economic assessment of the territory of a hydrocarbon deposit under development, including the values of reservoir pressure drops from the initial level. The significant potential of the developed identification technology and the proposed state models suggests the need for further research and enrichment of the created scientific direction. The results of the study allow us to build a more effective hydrocarbon production program.

Key words: aggregate model, identification, natural resource potential, ecological and economic assessment, hydrocarbon deposit.

Введение

Интенсификация добычи углеводородов (УВ) приводит к падению пластового давления, а это, в свою очередь, является причиной возможных деформаций земной поверхности и трансформации подземных вод. Территория

с разрабатываемым месторождением углеводородов как природно-техногенный объект требует учитывать неоднородные частные показатели, в том числе, факторы, оказывающие отрицательное воздействие на экосистемы при добыче полезных ископаемых [1-3]. Проведение геодинамической эколого-хозяйственной оценки с идентификацией природно-ресурсного потенциала территории разрабатываемого месторождения углеводородов на базе агрегированных моделей позволяет существенно повысить геодинамическую безопасность [4-6] и, тем самым, эффективность использования природно-ресурсного потенциала.

В работе [7] изложены основные подходы к построению и моделированию систем интеллектуального управления состоянием техногенных объектов с позиции аналитической и непараметрической идентификации с учетом информационных технологий интеллектуальной поддержки принятия решений, технологий управления, методов проектирования и эффективности функционирования, а также технологий интеллектуального анализа данных. Кроме того, приведена методология построения агрегированных моделей состояния таких объектов. Однако, отсутствует информация об эколого-хозяйственной оценке природно-ресурсного потенциала.

В статье [8] рассмотрены различные аспекты геодинамики верхней части земной коры в районах добычи нефти и газа с анализом геологического строения, газодинамической и гидрологической обстановок в естественных и антропогенно измененных условиях. Выявлены факторы, влияющие на геодинамику и сейсмическую активность нефтегазоносных территорий, сформулированы принципы геодинамического и сейсмического мониторинга в районах добычи нефти и газа. В то же время вопросы эколого-хозяйственной оценки таких территорий совсем не рассмотрены.

В работе [9] анализируются проблемы, связанные с применением оценки экосистемных услуг и их стоимостной оценки к управлению окружающей средой. В статье обсуждаются события и проблемы, связанные с включением экосистемных услуг в инструменты комплексного ландшафтного планирования и принятия решений. В ней проведен анализ пространственного распределения и динамики экосистемы водно-болотного заповедника озера Эбинур; рассмотрена ценность экосистемных услуг данного ландшафта и его экологической среды в здоровье и образ жизни

человека, обеспечивающие культурные и экономические выгоды для поддержания и самореализации живых организмов. В работе [10] обобщены и сравнены известные воздействия на смертность диких животных, потерю среды обитания, фрагментацию, шумовое и световое загрязнение, инвазивные виды и изменения в запасах нефти, газа и водных ресурсах с учетом роста добычи нефти, газа и энергии ветра. Однако в этих работах не учтены природно-ресурсный потенциал с учетом недр и геодинамические процессы на территориях с интенсивной добычей углеводородов.

В работе [11] изложены основные вопросы построения и моделирования систем интеллектуального управления состоянием техногенных объектов с позиции аналитической и непараметрической идентификации с учетом информационных технологий интеллектуальной поддержки принятия решений, технологий управления, методов проектирования и эффективности функционирования, а также технологий интеллектуального анализа данных. Кроме того, приведена методология построения агрегированных моделей состояния таких объектов. Вместе с тем в ней отсутствует информация об эколого-хозяйственной оценке природно-ресурсного потенциала.

Анализ опубликованных работ по затронутой проблеме показывает, что требуется учитывать неоднородные частные показатели, характеризующиеся различной значимостью и размерностью и развивающиеся в разных направлениях. На таких территориях геодинамические параметры могут играть определяющую роль. Для решения проблемы необходимы агрегированные модели аддитивного типа, обеспечивающие возможность с минимальными потерями привести несравнимые временные и пространственные показатели к сопоставимому виду.

В результате проведенного анализа проблемы была сформулирована цель исследования – повышение геодинамической безопасности за счет построения агрегированных моделей аддитивного типа с включением в них геодинамических параметров и, в первую очередь, показателей падения пластовых давлений на территории с разрабатываемым месторождением углеводородов (первая задача), а также разработка на этой основе соответствующей технологии идентификации природно-ресурсного потенциала (вторая задача) с возможностью построения распределений падений пластового давления в виде соответствующих гистограмм с нахождением моделей аппроксимации.

Материалы и методы

В рамках выполнения первой задачи исследования сначала находят величину агрегированной модели аддитивного типа для каждой доли площади территории с разрабатываемым месторождением и находят величину агрегированной аддитивной модели для всей территории с разрабатываемым месторождением УВ [12].

В рамках выполнения второй задачи исследования предусмотрены три этапа: 1 – подготовка геодинимических данных; 2 – определение доли территории по падению пластового давления; 3 – построение распределения геодинимического состояния этих долей территории (рис. 1).

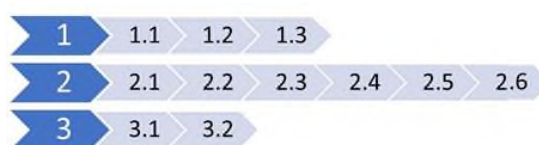


Рис. 1. Функциональная схема идентификации состояния ПРП территории с разрабатываемым месторождением углеводородов

Этап 1. Выбирают объект исследования по удельным критериям: площадь территории месторождения (операция 1.1); количество скважин на единицу площадки месторождения (1.2) и продолжительность освоения месторождения (1.3).

Этап 2. Анализируются данные карты изобар по падению пластового давления (ППД) территории с учетом продуктивных пластов: определяют площади долей с различным уровнем падения пластового давления (операция 2.1); находят коэффициенты весомости двумя методами: методом экспертных оценок путем опроса специалистов по современной геодинимике (2.2), а также методом с использованием информации, снимаемой с карты изобар. Далее рассчитывают величину агрегированной аддитивной модели для каждой доли площади территории с разрабатываемым месторождением (операция 2.3) по соотношению (1):

$$x_j = \sum_{i=1}^n \alpha_i r_{i \text{ отн}}, \quad (1)$$

где n — число параметров в соответствующих агрегированных моделях территорий месторождения по ППД; α_i — весовой коэффициент i -го частного показателя состояния j -ой доли территории с разрабатываемым месторождением УВ по ПД; $r_{i \text{ отн}}$ — i -й нормированный частный показатель состояния j -ой доли территории с разрабатываемым месторождением по ППД.

Для этого в каждом месторождении УВ ранжируют территорию по ППД

(2.4); определяют для них соответствующие весовые коэффициенты (2.5); находят величины агрегированных аддитивных моделей для каждого l -го территорий по ППД в каждом k -м месторождении (2.6) по соотношению (2):

$$y_k = \sum_{l=1}^m b_l x_{l \text{ отн}}, \quad (2)$$

где m — число площади долей с различным уровнем ППД в k -м месторождении; b_l — весовой коэффициент l -го ППД в k -м месторождении; $x_{l \text{ отн}}$ — нормированное значение состояния l -го ППД в k -м месторождении.

Этап 3. Для построения искомого распределения для каждой доли площади территории разрабатываемого месторождения УВ по ППД строят соответствующую гистограмму (3.1); при необходимости определяют закон распределения для территорий месторождения УВ по ППД с использованием критериев согласия при выбранной доверительной вероятности и соответствующем числе степеней свободы (3.2).

Результаты и обсуждение

Предлагаемая технология идентификации состояния природно-ресурсного потенциала при геодинамической эколого-хозяйственной оценке территории разрабатываемого месторождения углеводородов с построением соответствующих агрегированных моделей использована для Александровского УВ-месторождения.

Неравномерное извлечение углеводородов (УВ) во времени и по территории создает локальные изменения пластового давления и соответствующие локальные напряжения в геологической среде, которые частично разгружаются местными сейсмическими событиями. Сформированная в гидросистеме месторождения техногенная область низкого давления по законам гидродинамики распространяется в геологической среде за пределы месторождения, создавая условия для увеличения напряженности в недрах и сейсмической активности [7, 8]. Изменение давления в продуктивных пластах Александровского месторождений к 2019 г. распределяется в геологической среде согласно соответствующим законам гидро- и газодинамики, распространяясь внутри месторождения и за его пределы, и изменяет природное гидродинамическое состояние, а затем и напряженно-деформированное состояние горных пород.

По результатам расчётов деформации на месторождении могут оказать

заметное влияние на состояние промышленных и гражданских сооружений, объектов инфраструктуры нефтепромыслов [4, 5]. При оценке эколого-хозяйственного состояния территории района интенсивной добычи нефти и газа с учетом падения пластового давления позволяет провести более полную оценку экологической обстановки и учесть антропогенную нагрузку от добычи УВ на геологическую среду.

Этап 1. Данные по удельной площади территории УВ-месторождения, плотности скважин и длительности эксплуатации: плотность скважин – 0,824 штук/км²; добыча нефти с начала разработки (с марта 2014 г. по 01.08.2019 г.) – 408,35 тысяч тонн, величина удельной площади территории УВ-месторождения (в расчете на один месяц) – от 1,16 км²/тысяч тонн (за июль 2019 г.) до 3,28 км²/тысяч тонн с начала разработки (с марта 2014 г. по 01.08.2019 г.).

Этап 2. По продуктивным пластам для выбранного месторождения УВ обрабатывают карту изобар по падению пластового давления и находят площади долей с различным уровнем пластового давления (2.1); находят коэффициенты весомости методом экспертных оценок путем опроса специалистов по современной геодинамике (2.2), а также с использованием геодинамической информации, снимаемой с карты изобар. С использованием результатов ранжирования вычисляют величину агрегированной аддитивной модели для каждой доли площади территорий месторождения по ППД (2.3, 2.4). Для каждой доли площади территории с разрабатываемым УВ-месторождением по ППД (2.6) определена величина агрегированных аддитивных моделей (2.5).

Для Александровского УВ-месторождения величина агрегированной модели аддитивного типа с весовыми коэффициентами, определенными по методу экспертных оценок, состояния долей территории месторождения по ППД и интегрированная оценка состояния составила 0,41174, а с весовыми коэффициентами, определенными по геодинамической информации, взятой из карты изобар, она оказалась на 11,8% меньше.

Этап 3. На гистограмме отображено искомое распределения долей площади территории разрабатываемого месторождения УВ по ППД (рис. 2).

Полиномиальные модели 5-й степени аппроксимации обеспечивают достаточно высокий уровень достоверности.

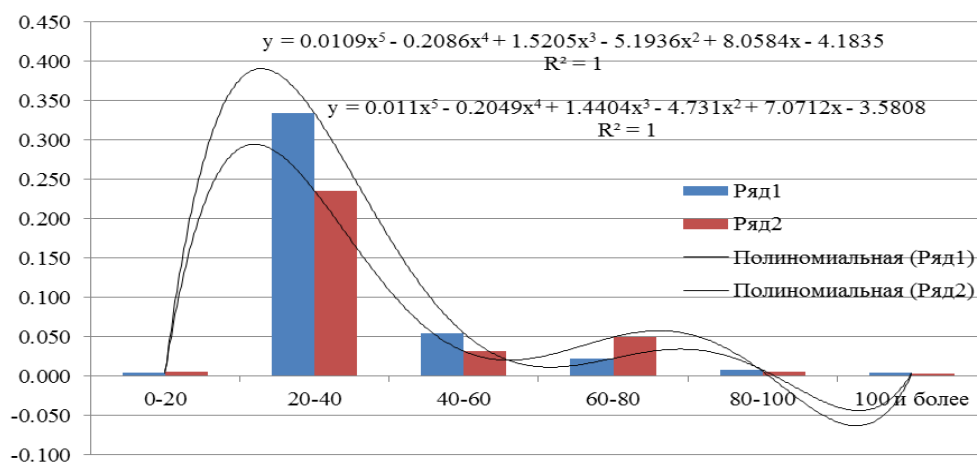


Рис. 2. Гистограммы, построенные по карте изобар для Александровского месторождения, в виде агрегированных моделей состояния долей территории с определенным падением пластового давления: ряд1 - с весовыми коэффициентами, определенными по методу экспертных оценок; ряд 2 – с весовыми коэффициентами, определенными по геодинамической информации, взятой из карты изобар.

Следовательно, предложенная технология позволяет не только идентифицировать ПРП при анализе эколого-хозяйственного состояния территории с разрабатываемым месторождением углеводородов, но и прогнозировать изменения в компонентах природной среды при изменении техногенной нагрузки и, как следствие, управлять в дальнейшем ее состоянием при осуществлении хозяйственной деятельности.

Заключение

Научная новизна изложенного материала заключается в том, что обосновано построение агрегированных моделей аддитивного типа долей с определенным падением пластового давления территории с разрабатываемым месторождением углеводородов, которые в отличие от известных позволяют наряду с обычными параметрами, используемыми при эколого-хозяйственной оценке природно-ресурсного потенциала, ввести основные геодинамические параметры, учитывающие присущую существенную неравномерность интенсивности добычи углеводородов.

Полученные результаты нацелены на решение фундаментальной проблемы повышения эффективности функционирования и использования природно-техногенных объектов, важными из которых являются территории с разрабатываемыми УВ-месторождениями. Значительный практический и научный потенциал полученных результатов обуславливает необходимость продолжения исследований для развития данного научного направления.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кочуров Б.И. Экодиагностика и сбалансированное развитие. М.: Инфра-М, 2016. 362с.
2. Владов Ю.Р., Владова А.Ю. Построение и моделирование систем интеллектуального управления состоянием техногенных объектов. Оренбург: ООО ИПК «Университет», 2013. 243 с.
3. Владова А.Ю., Владов Ю.Р. Построение систем интеллектуального управления состоянием техногенных объектов. Оренбург: ООО ИПК «Университет», 2012. 176 с.
4. Соломатин Н.В., Нестеренко М.Ю. Природа и эколого-хозяйственное состояние территории Байтуганского месторождения нефти. Бюллетень Оренбургского научного центра УрО РАН 2019. 4. 9 с. [Электр. ресурс] (URL: <http://elmag.uran.ru:9673/magazine/Numbers/2019-4/Articles/NVS-2019-4.pdf>) DOI: 10.24411/2304-9081-2019-15017.
5. Nesterenko M., Tsviak A., Kapustina O., Nesterenko A., Nikiforov S. Dangerous geodynamic processes of the Eastern Orenburg. E3S Web Conf. Vol. 169, 2020. Actual Problems of Ecology and Environmental Management: Cooperation for Sustainable Development and Environmental Safety (APEEM 2020) DOI: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202016901016>.
6. Nesterenko M., Tsviak A., Belov V. Natural and technogenic geodynamic processes in the South Ural. E3S Web of Conf. Vol. 208 (2020) First Conference on Sustainable Development: Industrial Future of Territories (IFT 2020) Yekaterinburg, Russia, September 28-29, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202020801018>.
7. Владов Ю.Р., Нестеренко М.Ю., Нестеренко Ю.М., Владова А.Ю. Повышение геодинамической безопасности разрабатываемых месторождений углеводородов нефтегазоносного бассейна. Безопасность труда в промышленности. 2021. 7: 31-37.
8. De Groot R.S., Alkemade R., Braat L., Hein L., Willemen L. Challenges in integrating the concept of ecosystem services and values in landscape planning, management and decision making. Ecological Complexity. 2010. 7 (3): 260-272. DOI: doi.org/10.1016/j.ecocom.2009.10.006.
9. Zhang F., Yushanjiang A., Jing Y. Assessing and predicting changes of the ecosystem service values based on land use/cover change in ebinur lake wetland national nature reserve, xinjiang, China // Science of the Total Environment. 2019. 656: 1133-1144. DOI: doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.11.444
10. Jones N.F., Pejchar L., Kiesecker J.M. The Energy Footprint: How Oil, Natural Gas, and Wind Energy Affect Land for Biodiversity and the Flow of Ecosystem Services. BioScience. 2015/ 1(3) DOI: [10.1093/biosci/biu224](https://doi.org/10.1093/biosci/biu224).
11. Владов Ю.Р., Нестеренко М.Ю., Владова А.Ю. Технология мониторинга геодинамического состояния недр эксплуатируемого месторождения углеводородного сырья. Материалы XII междунар. конф. «Управление развитием крупномасштабных систем» (MLSD'2019): М.: ИПУ РАН. 2019: 1055-1061.
12. Соломатин Н.В., Владов Ю.Р., Нестеренко М.Ю., Владова А.Ю. Идентификация природно-ресурсного потенциала территории с разрабатываемым месторождением углеводородов. Вопросы степеведения. 2022. 4: 33-43. DOI: 10.24412/2712-8628-2022-4-33-43 12.12.2022.

Поступила 20 июня 2025 г.

(Контактная информация: Соломатин Николай Владиславович – кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник отдела геоэкологии Оренбургского федерального исследовательского центра УрО РАН; адрес: 460014, Оренбург, ул. Набережная, д. 29, а/я 59; тел./факс (3532) 77-06-60 e-mail: nicosvs@mail.ru)

REFERENCES

1. Kochurov B.I. Ecodiagnosics and balanced development. Moscow: Infra-M, 2016. 362s.
2. Vladov Yu.R., Vladova A.Yu. Construction and modeling of intelligent control systems for

- technogenic objects. Orenburg: IPK "University" LLC, 2013. 243 p.
3. Vladova A.Yu., Vladov Yu.R. Construction of intelligent control systems for the state of man-made objects. Orenburg: IPK "University" LLC, 2012. 176 p.
 4. Solomatin N.V., Nesterenko M.Y. Nature and ecological and economic condition of the territory of the Baytugan oil field. Bulletin of the Orenburg Scientific Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences 2019. 4. 9 p. [Elect. resource] (URL: <http://elmag.uran.ru:9673/magazine/Numbers/2019-4/Articles/NVS-2019-4.pdf>) DOI: 10.24411/2304-9081-2019-15017.
 5. Nesterenko M., Tsviak A., Kapustina O., Nesterenko A., Nikiforov S. Dangerous geodynamic processes of the Eastern Orenburg. E3S Web Conf. Vol. 169, 2020. Actual Problems of Ecology and Environmental Management: Cooperation for Sustainable Development and Environmental Safety (APEEM 2020) DOI: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202016901016>.
 6. Nesterenko M., Tsviak A., Belov V. Natural and technogenic geodynamic processes in the South Ural. E3S Web of Conf. Vol. 208 (2020) First Conference on Sustainable Development: Industrial Future of Territories (IFT 2020) Yekaterinburg, Russia, September 28-29, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202020801018>
 7. Vladov Yu.R., Nesterenko M.Yu., Nesterenko Yu.M., Vladova A.Yu. Improving the geodynamic safety of developed fields hydrocarbons of the oil and gas basin. Occupational safety in industry. 2021. 7: 31-37.
 8. De Groot R.S., Alkemade R., Braat L., Hein L., Willemen L. Challenges in integrating the concept of ecosystem services and values in landscape planning, management and decision making. Ecological Complexity. 2010. 7 (3): 260-272. DOI: doi.org/10.1016/j.ecocom.2009.10.006.
 9. Zhang F., Yushanjiang A., Jing Y. Assessing and predicting changes of the ecosystem service values based on land use/cover change in ebinur lake wetland national nature reserve, xinjiang, China // Science of the Total Environment. 2019. 656: 1133-1144. DOI: doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.11.444
 10. Jones N.F., Pejchar L., Kiesecker J.M. The Energy Footprint: How Oil, Natural Gas, and Wind Energy Affect Land for Biodiversity and the Flow of Ecosystem Services. BioScience. 2015/ 1(3) DOI:10.1093/biosci/biu224.
 11. Vladov Yu.R., Nesterenko M.Yu., Vladova A.Yu. Technology for monitoring the geodynamic state of the subsurface of an exploited hydrocarbon deposit. Proceedings of the XII International Conference "Management of the development of large-scale systems" (MLSD'2019): Moscow: IPU RAS. 2019: 1055-1061.
 12. Solomatin N.V., Vladov Yu.R., Nesterenko M.Yu., Vladova A.Yu. Identification of the natural resource potential of the territory with the developed carbon deposit. Questions of steppe studies. 2022. 4: 33-43. DOI: 10.24412/2712-8628-2022-4-33-43 12.12.2022.

Образец ссылки на статью:

Соломатин Н.В. Технология идентификации природно-ресурсного потенциала при геодинамической эколого-хозяйственной оценке территории Александровского месторождения углеводородов. Бюллетень Оренбургского научного центра УрО РАН. 2025. 2: 9с. [Электр. ресурс] (URL: <http://elmag.uran.ru:9673/magazine/Numbers/2025-2/Articles/SNV-2025-2.pdf>). DOI: 10.24411/2304-9081-2025-12002.