

**А.А. Одинцова, А.Д. Гишвани, А.И. Рыбкина, О.О. Самохина,
А.А. Астапенкова, Е.Ю. Фирсова**

ДИНАМИКА РАЗВИТИЯ НЕФТЕГАЗОВОЙ ОТРАСЛИ В 20 ВЕКЕ НА ПРИМЕРЕ КРУПНЕЙШИХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ МИРА: ГИС-ПРОЕКТ И ВЕБ-СЕРВИС (ЧАСТЬ II)



Динамические данные

К этому разделу полей атрибутивной таблицы относятся динамические данные, которые могут изменяться во времени. Среди такого рода параметров месторождений: *методы добычи; технологии добычи; технологические особенности; дебит скважин.*

Изменения динамических параметров проводятся с интервалом в 1 год, при этом статические параметры остаются неизменными. Таким образом, каждому отдельному месторождению ставится во взаимно-однозначное соответствие прямоугольная матрица, где элемент матрицы отвечает значению того или иного параметра в установленный период времени. По столбцам этой матрицы располагаются года от 1900 до 2000, а по строкам – значения перечисленных выше четырех динамических параметров этих месторождений. Пример организации матрицы схематически представлен в табл. 2.

Таблица 2

	S1	Sn	D1	Dn
1900	0	0	0	0
1901	0	0	0	0
1900	0	0	0	0
1901	1	5	1	210
1948	1	5	5	256
...	1	5
2000	1	5	10	346

Пример прямоугольной матрицы отдельного месторождения, где S1-Sn – статические параметры, D1-Dn – динамические параметры. Красным цветом выделена область известных значений

Исторически *методы и технологии* добычи УВ (два следующих содержательных поля атрибутивной таблицы), в частности нефти, делятся на три типа, в зависимости от давлений внутри пласта и способов его поддержания. Такое деление

методов принято практически однозначно в нефтяной промышленности всего мира. Оно фигурирует и в классических учебниках советских и российских ученых [2, 5-6]. Остановимся на каждом из трех типов методов.

Первичный метод. Нефть поступает из пласта под действием естественных сил, поддерживающих высокое давление внутри пласта. Если давление в пласте не является достаточным для того, чтобы нефть поднялась на поверхность по пробуренному стволу скважины, оказывается необходимым применение специальных насосов и качалок. Как правило, большинство УВ на ранних стадиях добычи добываются именно первичным методом, т.к. выход флюида происходит за счет разности давления в продуктивном пласте и давления на устье скважины.

По результатам проведенного аналитического обзора было установлено, что добыча УВ на большинстве уникальных и крупных месторождений Саудовской Аравии в 40–60-е гг. прошлого столетия проводилась именно первичным методом. Среди таких месторождений – Катиф, Гавар, Берри и др.

Вторичный метод. После исчерпания естественного ресурса поддержки давления начинается применение вторичных методов. *Технология добычи* данного метода заключается в подведении в пласт внешней энергии в виде закачиваемой жидкости (например, пресной воды), природного или попутного газа. Стоит отметить, что закачивание воды значительно увеличивает обводненность нефти, что требует затем дополнительных усилий для их последующего разделения. Тем не менее, вторичный метод широко используется в нефтяной промышленности и является промежуточным между малозатратным первичным методом и третичными методами, используемыми в течение наиболее продолжительного периода эксплуатации скважин.

Третичный метод. Метод повышения нефтеотдачи, основанный как на искусственном поддержании энергии пласта, так и на искусственном

изменении физико-химических свойств нефти. Использование этого метода позволяет повысить коэффициент нефтеотдачи месторождения на 30-60%, в то время как первыми двумя методами извлекается максимум 40% продукта.

Разнообразие технологических особенностей данного метода очень велико. Соответственно, их непросто расклассифицировать. По типу способов воздействия на нефть и на пласт, а также по типу рабочих агентов можно привести следующую условную классификацию третичных методов [2, 4]:

- тепловые методы – закачка горячей воды, пара;
- газовые методы – закачка двуокиси углерода, углеводородных газов для разжижения нефти;
- физические методы – вибровоздействие на пласт, плазменно-импульсное воздействие;
- химические методы – закачка химических реагентов;
- гидродинамические методы – внутриконтурное и законтурное заводнение, гидроразрыв пласта;
- комбинированные методы;
- физико-химические методы и др.

Третичные методы наиболее затратны как в экономическом аспекте, так и по расходу времени. Соответственно, третичные методы используются при условии, что добыча УВ остается при этом рентабельной. Таким образом, использование того или

иного третичного метода обусловлено стоимостью выбранного способа извлечения и ценой на нефть.

«Технологические особенности добычи», отражающиеся в следующем поле таблицы, включают в себя характеристики комплекса работ при добыче с использованием специального оборудования. Как правило, технологические особенности индивидуальны для каждого рассматриваемого месторождения и зависят от множества факторов. Среди них: свойства углеводородов, свойства коллекторов, особенности залежей и др.

Следующий параметр, динамично изменяющийся во времени (с интервалом в 1 год) по мере разработки месторождения, – это промышленный приток, или «дебит» нефти и/или газа из скважины, при котором разработка залежи (скважины) на данном этапе считается рентабельной [1]. Единицы измерения в данном случае – млн т и млрд м³ для нефти и газа соответственно (рис. 2).

Визуализация БД

Собранные данные по месторождениям были занесены в поля атрибутивных таблиц БД, реализуемой в среде Esri ArcGIS 10.3. При этом поля динамических параметров определяются матрицей, показанной в табл. 2.

ArcGIS – семейство программных продуктов компании Esri, одного из лидеров мирового рынка

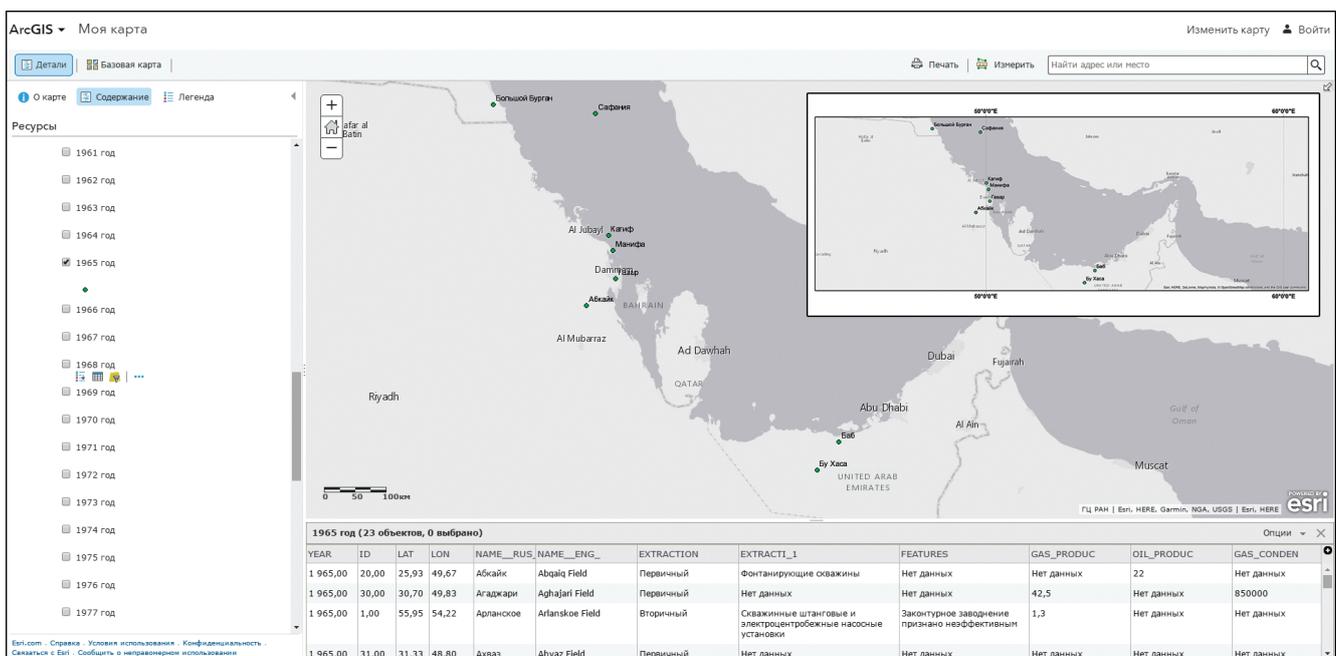


Рис. 2. Пример отображения динамической информации о месторождениях в среде ArcGIS. На карте точками отмечены крупнейшие месторождения УВ, разработка которых проводилась в 1965 году. В атрибутивной таблице под картой по каждому месторождению доступна информация с динамическими параметрами, актуальными на 1965 год: метод добычи, технология добычи, технологические особенности, дебит скважин

геоинформационных систем, позволяющее эффективно создавать и визуализировать большие объемы информации, имеющей географическую привязку. В среде Esri создаются и редактируются карты различных масштабов – от планов земельных участков до карты мира. С помощью приложений ArcGIS можно решать широкий спектр задач, включая создание разнообразных карт, управление данными, геопространственный и статистический анализ, редактирование данных и геообработку. ArcGIS также обладает широкими возможностями для программирования приложения внутри системы.

Таким образом, в результате анализа информации о местоположении каждого из рассматриваемых месторождений и представления ее в ArcGIS мы получаем эффективную визуализацию БД в виде геопространственных объектов. Разработанная и описанная выше БД по месторождениям оказывается представленной в виде единой карты, снабженной инструментами работы с данными и их фильтрации по различным параметрам.

При работе с ArcGIS использовалась картографическая подложка GEBCO (General Bathymetric Chart of the Oceans), являющаяся глобальной моделью рельефа земной поверхности, включающая в себя данные о рельефе суши и батиметрии морского дна. Разрешение модели составляет 30" (~1 км). Настоящая модель была выпущена в мае 2009 г. и обновлена в ноябре 2009 г.

Геоинформационный веб-сервис «Динамика развития нефтегазовой отрасли в 20 веке на примере крупнейших месторождений мира»

Важная составляющая созданной системы для работы с крупнейшими месторождениями УВ – это специализированный веб-сервис «Динамика развития нефтегазовой отрасли в 20 веке на примере крупнейших месторождений мира», созданный авторами статьи. Цель создания подобного веб-сервиса – обеспечение удобного для пользователей и алгоритмических приложений доступа ко всему множеству слоев данных, имеющихся в БД.

Важной особенностью разработанного сервиса является наличие в его составе приложения для взаимодействия удаленных пользователей с соответствующими цифровыми слоями. Это обеспечивается специализированным картографическим веб-приложением, не требующим от конечных пользователей установки дорогостоящего геоинформационного программного обеспечения (ПО). Все цифровые слои пространственных данных (набор карт) и соответствующая атрибутивная информация хранятся на ГИС-сервере с обеспечением доступа в многопользовательском режиме.

Разработанный интерфейс обеспечивает возможность эффективного сравнительного пространственного анализа данных по месторождениям. Набор карт сопровождается их тематическим описанием. Анализ данных может проводиться авторизованными пользователями системы через браузер с помощью веб-сервиса ГИС-Россия.

Последовательно перечислим выполненные этапы работ при создании веб-сервиса «Динамика развития нефтегазовой отрасли в 20 веке на примере крупнейших месторождений мира» (рис. 3):

- поиск, сбор и систематизация статических и динамических данных по месторождениям УВ и, как конечный результат данного этапа, – создание БД, где информация по каждому объекту представлена в виде excel-таблицы;
- создание специальных excel-таблиц, структура которых позволяет отследить изменения динамических параметров с шагом в один год для дальнейшего анализа развития методов и технологий добычи УВ;
- конвертация .xls таблиц в файлы для визуализации геопространственных данных;
- создание оригинального проекта в программном пакете ArcGIS, который объединяет в себе все данные БД. Геопространственная привязка данных БД;
- перевод данных в слои ArcGIS – для предоставления пользователю возможности выбора атрибутивных данных по одному или группе месторождений;
- разработка единого оформления легенды и репрезентативного цветового сопровождения тех или иных параметров данных по месторождениям;
- создание файлов метаданных (описания слоев), отражающих наиболее важную информацию о них: источник данных, масштаб, зону покрытия, период, за который собраны данные, авторы и т.д.;
- загрузка данных на сервер для обеспечения онлайн работы с ними конечных пользователей без установки специализированного ПО;
- публикация данных на портале ГИС-Россия в виде ArcGIS сервиса с возможностью генерирования запроса на получение пользователем доступа к системе по персональному паролю, предоставляемому разработчиками сервиса.

Инструменты портала

Веб-сервис «Динамика развития нефтегазовой отрасли в 20 веке на примере крупнейших месторождений мира» на портале <http://gis.gcras.ru/>



Рис. 3. Блок-схема, отражающая последовательность всех этапов создания веб-сервиса

представляет собой подсистему ГИС и централизованный каталог обработки геоданных. Он отвечает за представление геоданных, хранящихся на сервере, и доступ к алгоритмам их обработки.

Для работы с БД в формате геопространственных данных посредством портала доступен следующий функционал в режиме онлайн:

1. Выбор необходимых для просмотра слоев путем их включения-выключения по галочке (например, просмотр месторождений, разработывавшихся в определенном году).
2. Просмотр легенды слоев.
3. Просмотр атрибутивной таблицы (точных данных по каждому месторождению).
4. Фильтрация данных. Эта опция позволяет делать выборку месторождений по заданным пользователями параметрам. К примеру: выбор месторождений по типу запасов – только газовые или только нефтяные; выбор месторождений, разработка которых происходила в заданные пользователем временные рамки – с 1970 по 1980 гг. и т.д. (рис. 4).
5. Возможность одновременного отображения на карте нескольких слоев данных, наложенных друг на друга.
6. Регулировка прозрачности слоя в случае одновременной работы с несколькими слоями данных. Задавая коэффициент прозрачности каждому слою, пользователь имеет возможность одновременного использования данных различных категорий для их совместной оценки и анализа.
7. Краткая информация о данных (метаданные) – структурированные данные, представляющие собой характеристики описываемых месторождений для целей их идентификации, поиска, оценки, управления ими (рис. 5).

8. Возможность загрузки данных из веб-сервиса непосредственно на компьютер пользователя при наличии у него установленного пакета ArcGIS (рис. 6). Таким образом, пользователь может интегрировать свои данные и алгоритмы с данными сервиса в одном проекте для проведения совместного анализа. При этом данные с сервиса доступны только для работы с ними в режиме онлайн и физически не сохраняются на ПК пользователя. Это позволяет обеспечить защиту авторских прав.

Визуализация БД на сферическом демонстрационном экране

Наряду с традиционным плоским экраном созданная система БД – ГИС-сервис – веб-приложение оснащена и одним из передовых средств визуализации – цифровым демонстрационным комплексом со сферическим проекционным экраном. Это устройство основано на новой технологии, позволяющей сферически визуализировать растровые изображения, анимацию и видеоматериалы.

В нашей стране технология сферической визуализации успешно развивается в Геофизическом центре РАН. В центре разработано оригинальное сферо-визуализирующее ПО «ORBUS», по ряду параметров превосходящее американский и китайский аналоги. Создано несколько российских цифровых демонстрационных комплексов со сферическим проекционным экраном различных диаметров [3, 7].

Демонстрационный комплекс подключается к рабочей станции, на которой установлено специализированное ПО «ORBUS» (рис. 7). Приложение позволяет преобразовать любое изображение прямоугольного формата в сферический. Затем конвертированное изображение передается на проектор и проецируется на зеркало, а затем через блок линз на внутреннюю поверхность сферического экрана [3, 7].

Фильтр: Статические данные

Создать + Добавить другое выражение Добавить набор

Показать объекты в слое, которые удовлетворяют следующему выражению

CLASSIFICA Нефтяные

Запросить значения

соответствует значение Поле Уникальное

не соответствует

начинается с

заканчивается на

содержит

не содержит

ID	LAT	LOX	NAME_RUS_	NAME_ENG_	LOCATION	CLASSIFICA	EXPLORATIO	DISCOVERY	START_OF_P
1,00	55,95	54,22	Арланское	Arlanskoe Field	Краснокамский район, республика Башкирия, Россия	Нефтяные	Общерегистральные исследования; геофизические и геологические съемки; глубокое поисково-разведочное бурение	1955	1958
8,00	61,75	72,78	Мамонтовское	Mamontovskoe Field	Сургутский район, Ханты-Мансийский АО, Россия	Нефтяные	Поисковое бурение на территории месторождения проводилось Усть-Балыкской нефтеразведочной экспедицией	1965	1970
10,00	61,33	70,31	Приобское	Priobskoye Field	Тюменская область, Ханты-Мансийский АО, Россия	Нефтяные	Разведочные работы велись с 1982 по 1988 гг. Комплексный анализ данных сейсморазведки и бурение глубоких разведочных скважин. Южная территория	1982	1988 (освоение правого берега); 1999 (освоение левого берега)
11,00	54,57	52,37	Ромашкинское	Romashkino Field	Ленинградский район, Татарстан, Россия	Нефтяные	Бурение разведочных скважин методом широкого охвата исследуемой территории, предполагающую бурение скважин через каждые 5-10 километров.	1948	1952

Рис. 4. Окно фильтрации и пример фильтрации месторождений по типу УВ (приведен пример выбора только нефтяных месторождений)

```

UV_stat - Notepad
File Edit Format View Help
<?xml version="1.0" encoding="utf-8"?>
<layer_metadata>
  <title>Динамика развития нефтегазовой отрасли в 20 веке - крупнейшие месторождения мира</title>
  <file_name>BATURIN_SERVICE.gdb</file_name>
  <date_of_inclusion>Ноябрь 2016 г.</date_of_inclusion>
  <projection>Географическая (WGS-84)</projection>
  <type>Шейповый (точка)</type>
  <scale></scale>
  <resolution></resolution>
  <territory_coverage>Весь мир</territory_coverage>
  <source>Геофизический центр Российской академии наук (ГЦ РАН)</source>
  <citation>Rybkina A.I., Odintsova A.A., Gvishiani A.D., Samokhina O.O., Astapenkova A.A. Development of geospatial database on hydrocarbon extraction methods in the 20th century for large and super large oil and gas deposits in Russia and other countries // Russian Journal of Earth Sciences. 2016. V. 16, No. 6 ES6002. DOI: 10.2005/2016ES000584</citation>
  <data_period>1900-1999</data_period>
  <abstract>Объектами слоя являются крупные и суперкрупные месторождения углеводородов (УВ) в мире. Слой имеет глобальное покрытие. Атрибутивные данные слоя по крупнейшим месторождениям углеводородов мира включают сведения по 43 месторождениям УВ. Указаны также географическое положение (координаты, страна); тип залежей; методы поиска и разведки; даты открытия и ввода месторождения в эксплуатацию; данные о коллекторе; плотность нефти; разрабатывающее предприятие; количество запасов.</abstract>
  <fields>
    <field name="ID">
      <description>Уникальный идентификатор месторождения</description>
    </field>
    <field name="LAT">
      <description>Широта</description>
    </field>
    <field name="LON">
      <description>Долгота</description>
    </field>
    <field name="NAME (RUS)">
  
```

Рис. 5. Фрагмент метаданных в формате .xml. Приведена расшифровка полей атрибутивных таблиц, а также основная справочная информация о слоях



Рис. 6. Функционирование ГИС-системы с точки зрения пользователя

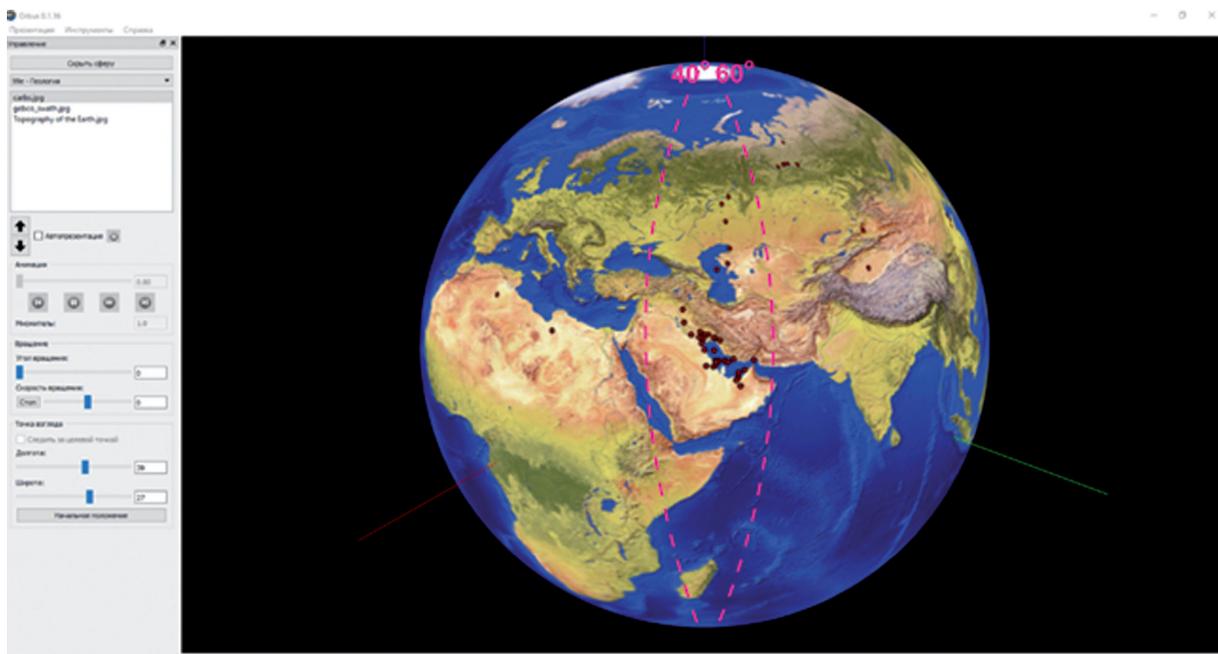


Рис. 7. Пример работы ПО «ORBUS» визуализации данных по месторождениям УВ на сферическом демонстрационном экране. Точками отмечены крупнейшие месторождения УВ. Проведены 40° и 60° меридианы, между которыми находится большинство представленных месторождений

ПО «ORBUS» разработано в ГЦ РАН под руководством А.Е. Бобкова [3]. Это ПО обеспечивает интерактивную визуализацию данных на сферическом экране, включая возможность их подготовки. Изображение выводится сразу на два экрана. На основном экране компьютера/ноутбука показывается графический интерфейс для управления визуализацией и графическое окно с глобусом в обычной перспективной проекции. Второй экран – сферический. На него выводится специально подготовленное изображение глобуса в сферической проекции.

«ORBUS» позволяет визуализировать растровые изображения и видео, контролируя процесс демонстрации с помощью пульта дистанционного управления. Имеется возможность запускать и останавливать анимацию; вращать, переворачивать, наклонять и разворачивать изображение в любых направлениях.

Таким образом, цифровой демонстрационный комплекс со сферическим проекционным экраном позволяет представить месторождения БД максимально репрезентативно и динамично, формируя тем самым правильное комплексное представление о распределении крупнейших месторождений УВ во всем мире.

Обсуждение результатов

Результатом проведенных авторами работ является многокомпонентный геоинформационный продукт, который может стать актуальным и эффективным инструментом фундаментальных прикладных и аналитических исследований месторождений УВ. Созданные БД, ГИС-проект и веб-приложение открывают возможность многокритериальной классификации месторождений методами дискретного математического анализа, включая кластеризацию и распознавание образов.

Геологические запасы стран, занимающих последнее время лидирующие позиции по добыче и поставке УВ, позволили значительно улучшить их экономическое положение и утвердиться на мировой арене в качестве экономически мощных держав. Развитие нефтяной промышленности внутри каждой такой страны, в свою очередь, послужило стимулом к созданию и усовершенствованию новых методов добычи и разведки нефтегазовых месторождений. Таким образом, динамические показатели созданной БД в значительной степени

характеризуют и процесс развития науки и техники в мире.

Важнейшей составляющей описанного в этой работе продукта стала оригинальная БД, которая включает в себя **статические** и **динамические** параметры крупнейших месторождений углеводородов России и других стран мира 20-го века.

Следующим шагом на пути создания ГИС-проекта стала визуализация объектов БД в среде ArcGIS. Это послужило фундаментом для реализации другой важной компоненты проекта – создания соответствующего геоинформационного веб-сервиса. И наконец, важнейшим результатом проекта является приложение, позволяющее удаленно работать с созданной БД в ГИС (рис. 6). Централизованное хранение слоев данных и соответствующей атрибутивной информации обеспечивает доступ к БД и ГИС в многопользовательском удаленном режиме. Кроме того, для проведения собственного аналитического исследования пользователь может интегрировать в единой геоинформационной среде цифровые слои ГИС-Россия и данные по месторождениям БД (рис. 8).

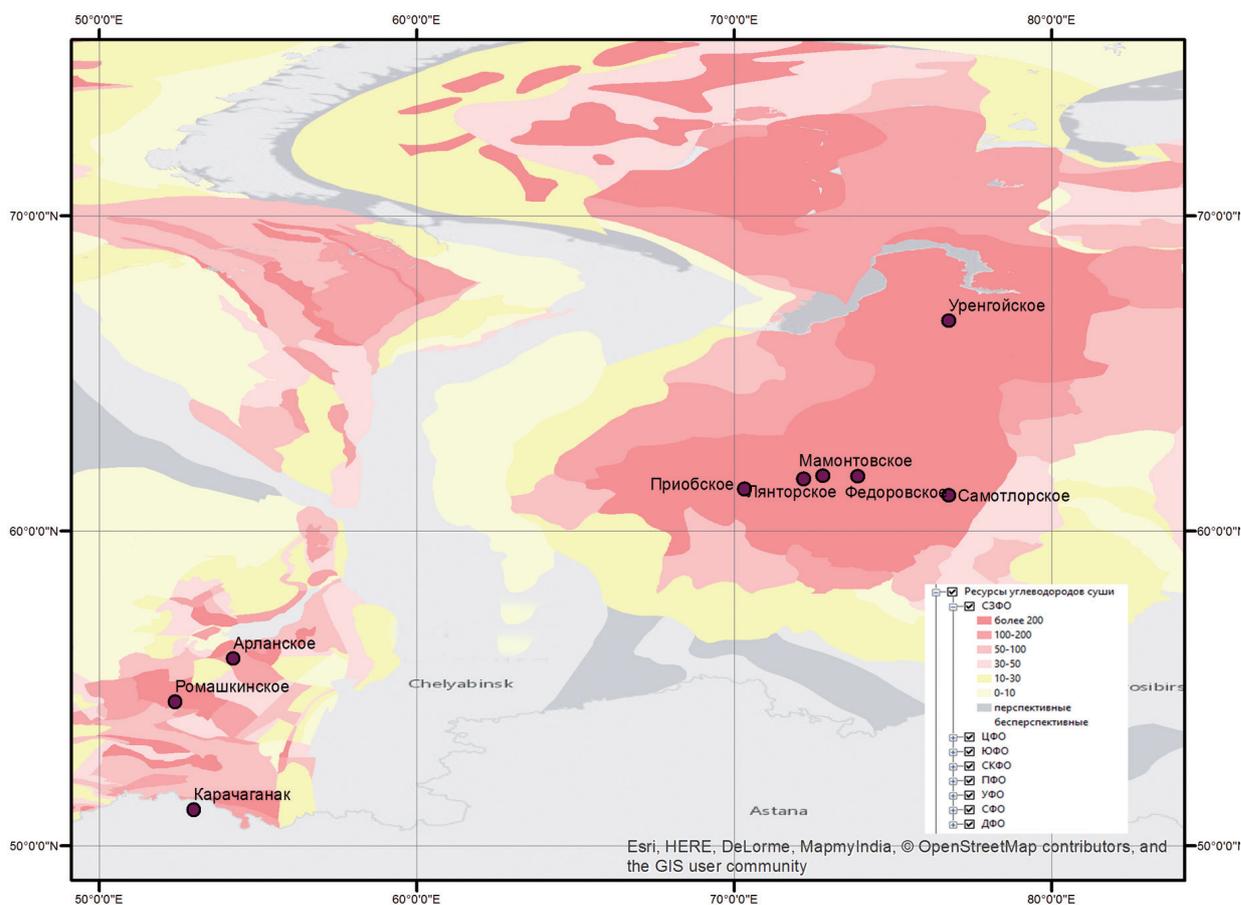


Рис. 8. Пример интеграции разработанного веб-сервиса и одного из сервисов ГИС-Россия: наложение месторождений России из БД на карту областей нефтегазоносности. Точками отмечены крупнейшие месторождения УВ

Таким образом, создана удобная и доступная система с широкими функциональными возможностями (БД, ГИС-проект, веб-приложение) для визуализации и анализа геологических данных.

Используя созданный геоинформационный инструмент, мы можем отследить развитие технологий и объемы добычи в каждой стране и увидеть закономерность распределения УВ на карте мира, выявив тем самым страны-лидеры. Распределение крупнейших месторождений УВ по странам мира показано на рис. 9. Из рис. 1 и 7 следует, что большая часть изученных крупнейших месторождений сосредоточена в регионе Ближнего и Среднего Востока, а именно, в пределах бассейна Персидского залива, располагаясь достаточно узкой полосой между 40° и 60° меридианами.

Одним из следующих этапов развития проекта станет наполнение имеющейся БД месторождениями УВ, которые можно отнести к категории крупных и стратегически важных, а также месторождений-гигантов, открытие и разработка которых пришлось на 21 век.

Работа выполнена в рамках государственного задания ФАНО России.

Ключевые слова: база данных, методы, добыча, технологии, крупнейшие месторождения нефти и газа, ГИС-проект, веб-сервис, сферическая визуализация.

ЛИТЕРАТУРА

1. Об утверждении методических рекомендаций по применению Классификации запасов и ресурсов нефти и горючих газов, утвержденной приказом Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации от 01.11.2013 N 477 : распоряжение Минприроды России от 01.02.2016 № 3-р.
2. Рагозин В.И. Нефть и нефтяная промышленность. – СПб. : Типография Товарищество «Общественная польза», 1884. – 561 с.
3. Рыбкина А.И., Бобков А.Е., Никифоров О.В., Пятыгина О.О. Программно-аппаратный комплекс для визуализации геофизических данных на сферическом экране // Научная визуализация. – 2015. – Т. 7, № 2. – С. 38-49. – URL: <http://sv-journal.org> (дата обращения 12.02.2017).
4. Степанова Г.С. Газовые и водогазовые методы воздействия на нефтяные пласты. – М. : Газоил пресс, 2006. – 199 с.
5. Сургучев М.Л. Вторичные и третичные методы увеличения нефтеотдачи пластов. – М. : Недра, 1985. – 280 с.
6. Щуров В.И. Технология и техника добычи нефти : учебн. для вузов. – М. : Недра, 1983. – 510 с.
7. Berezko A., Krasnoperov R., Kedrov E., Pyatygina O., Shibaeva A. Visualization of Earth main magnetic field maps on a spherical display // Russian Journal of Earth Sciences. – 2011. – Vol. 12, No. 2. – ES2004. doi: 10.2205/2011ES000508.

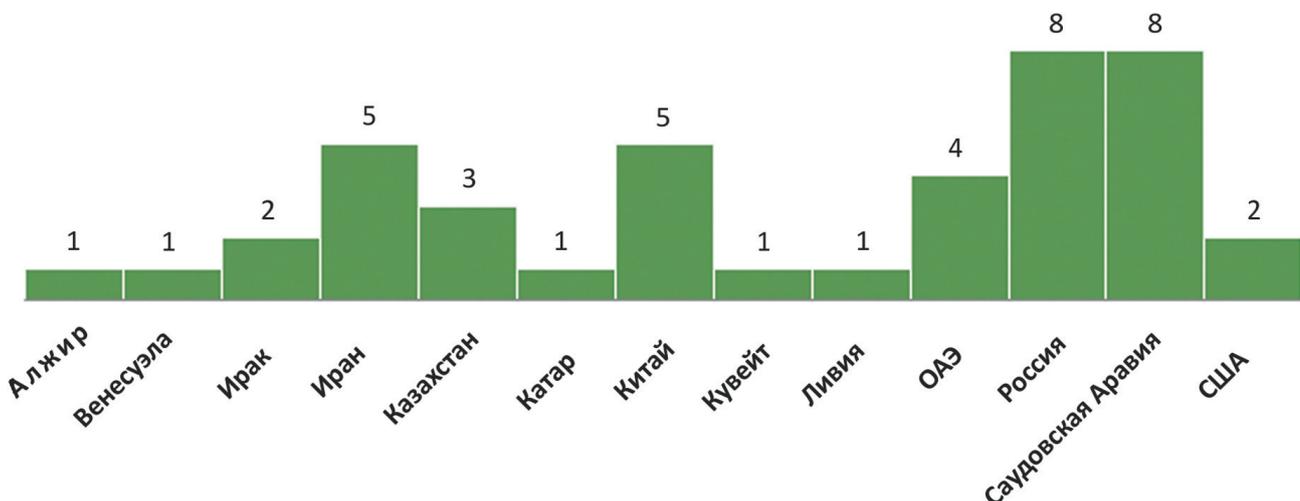


Рис. 9. Распределение крупнейших месторождений УВ по странам мира