

той классификации органических мацералов и новообразованных компонентов нет.

3. При анализе материалов геологоразведочных работ и результатов собственных исследований установлено, что особо чувствительными и информативными параметрами к процессам контактового метаморфизма являются показатели отражения витринита, выход летучих веществ и удельное электрическое сопротивление. Использование этих показателей позволило четко разграничить в конкретных угольных пластах антрациты и термоантрациты Булурского месторождения (Магаданская обл.). В ряде случаев зональность термально (контактово) метаморфизованных углей сравнительно четко устанавливается по результатам дополнительного определения действительной плотности и содержания органического углерода (Сибиргинское месторождение, Красногорский разрез в Кузбассе и др.).

4. В разработанном проекте классификации термально- (контактово) метаморфизованных углей для выделения марок и технологических групп, наряду с классификационными показателями по ГОСТ 25543-2013 (показатель отражения витринита, выход летучих веществ, толщина пластического слоя, индекс Рога, анизотропия отражения витринита) дополнительно предложено использование результатов определения содержания органического углерода ( $C^{daf}$ ) и значений удельного электросопротивления ( $\rho$ ). В ней впервые даются значения ряда показателей для таких продуктов контактового метаморфизма как «природный кокс», «обоженный уголь», «графит».

5. Результаты проведенных исследований позволяют считать контактово-метаморфизованные угли перспективным сырьем для получения ряда ценных продуктов.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Ажгиревич, Л.Ф. Петрографический состав углей Сахалина и их изменения под влиянием контактового метаморфизма / Л.Ф. Ажгиревич. — Автореф. дисс. на соискание ученой степени к. г.-м. н. — Ленинград, 1965. — 20 с.
2. Быкадоров, В.С. Закономерности изменения угленосности и качества углей Центральной части Тунгусского бассейна / В.С. Быкадоров. — Автореф. дисс. на соискание ученой степени к. г.-м. н. — Москва, 1969. — 32 с.
3. Вялов, В.И. Петрология антрацитов и угольных графитов России / В.И. Вялов. — Автореф. дисс. на соискание ученой степени д. г.-м. н. — Москва, 1999. — 44 с.
4. Гаврилова, О.И. Химические свойства и метаморфизм углей из зон контактов с секущими интрузиями / Вопросы метаморфизма углей и эпигенеза вмещающих пород / О.И. Гаврилова. — Л.: Наука. — 1968. — С. 163–182.
5. Гаврилова, О.И. О факторах контактового метаморфизма угленосных отложений. / О.И. Гаврилова, А.Б. Гуревич // Известия АН СССР, сер. геол. № 4. — 1972. — С. 136–144.
6. Гуревич, А.Б. Прогноз угленосности и качества углей при ГИС-200 и ГДП-200 / А.Б. Гуревич, Г.М. Волкова, М.В. Богданова. — С.-Петербург, 2001. — 142 с.
7. Жерновая, Г.Г. Особенности изменения состава и свойств углей южного Донбасса / Г.Г. Жерновая. — Автореф. дисс. на соискание ученой степени к. г.-м. н. — 1988. — 18 с.
8. Кизильштейн, А.Я. Атлас микрокомпонентов и петрографических типов антрацитов / А.Я. Кизильштейн, А.Л. Шпицглюз. — Ростов-на-Дону, 1998. — 115 с.
9. Левенштейн, М.Л. Закономерности метаморфизма углей Донецкого бассейна / М.Л. Левенштейн — Автореф. дисс. на соискание ученой степени к. г.-м. н. — Киев, 1966. — 48 с.
10. Меленовский, В.Н. Контактное преобразование угля под воздействием долеритовой дайки / В.Н. Меленовский, А.Н. Фомин // Геология и геофизика. — 2008. — № 9. — С. 886–893.
11. Скрипченко, Г.Б. Структура и свойства антрацитов термального метаморфизма / Г.Б. Скрипченко // Химия твердого топлива. — 2010. — № 5. — С. 3–8.
12. Штах, Э. Петрология углей / Э. Штах, М.Т. Маковский, М. Тейхмюллер и др. — М.: «Мир», 1978. — 554 с.

© Коллектив авторов, 2018

Косинский Владимир Андреевич // geocoal@list.ru  
Бобырев Семен Александрович // geocoal@list.ru  
Гонцов Александр Александрович // geocoal@list.ru  
Марков Алексей Геннадьевич // geocoal@list.ru

## ГЕОФИЗИКА

УДК 551.14: 550. 834

Костюченко С.Л.<sup>1</sup>, Маухин А.В.<sup>2</sup>, Кадури И.Н.<sup>2</sup>,  
Недядько В.В.<sup>2</sup>, Ракитов В.А.<sup>2</sup>, Чернышев Ю.Г.<sup>2</sup>  
(1 — АО «Росгеология», 2 — филиал ОАО  
«ВНИИГеофизика» — Центр ГЕОН)

### К 50-ЛЕТНЕМУ ЮБИЛЕЮ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ЦЕНТРА ГЕОН

Посвящается памяти Л.Н. Солодилова  
(18.03.1937 — 23.07.2017)

Представлены основные результаты деятельности Центра ГЕОН за 50 лет в области геолого-геофизических исследований. Показана роль генерального директора Л.Н. Солодилова в формировании предприятия как ведущей научно-производственной организации страны. **Ключевые слова:** геолого-геофизические исследования, история деятельности.

Kostyuchenko S.L.<sup>1</sup>, Mauhin A.V.<sup>2</sup>, Kadurin I.N.<sup>2</sup>, Nedyadko V.V.<sup>2</sup>, Rakitov V.A.<sup>2</sup>, Chernyshev Yu.G.<sup>2</sup> (1 — Rosgeologia, 2 — GEON Centre, Branch of VNIIGeofizika)

### TO THE 50-TH ANNIVERSARY OF THE ACTIVITIES OF THE GEON CENTER

*The paper shows the main results of the activities of the Geon Centre over 50 years in the field of geological and geophysical surveys. The imported role of L.N. Solodilov, Director General, in the formation of enterprise as the leading scientific and industrial organizations of the country is demonstrated. **Keywords:** geological and geophysical studies, history of activities.*

Пятьдесят лет назад, 8 февраля 1968 г., в тресте «Спецгеофизика» была создана Специальная опытно-методическая геофизическая экспедиция (СОМГЭ), реорганизованная 27 июля 1975 г. в Специальную региональную геофизическую экспедицию (СРГЭ) в составе НПО «Союзгеофизика» (с 7 апреля 1980 г. —

НПО «Нефтегеофизика»). В 1972 г. в состав экспедиции была включена сейсмическая партия № 7 Илийской геофизической экспедиции Казгеофизтреста (г. Алма-Ата). 1 января 1991 г. СРГЭ была переименована в Государственное предприятие «Центр региональных геофизических и геоэкологических исследований ГЕОН» (ЦРГГИ ГЕОН), с 22 июня 2001 г. получившее статус Федерального государственного унитарного предприятия. В 1998 г. организации было присвоено имя выдающегося организатора геофизических работ в СССР В.В. Федьнского. 30 августа 2005 г. по распоряжению Правительства РФ от 01.10.2003 г. №1431-р и приказа МПР России от 23.10.2003 г. №949 предприятие в качестве обособленного подразделения было присоединено к ГФУП «ВНИИГеофизика», которое в свою очередь во исполнение Указа Президента РФ от 15 июля 2011 г. № 957 в 2013 г. вошло в состав открытого акционерного общества «Росгеология».

Созданию организации (далее — Центр ГЕОН) во многом способствовали руководители Управления геофизических работ Мингео СССР В.В. Федьнский и В.Ю. Зайченко, управляющий треста «Спецгеофизика» У.А.-Г. Кухмазов и директор ВНИИГеофизика М.К. Полшков. Первым руководителем СОМГЭ был назначен Е.А. Попов (1968–1974). В последующие годы организацию возглавляли Н.М. Чернышев (1975–1987), Л.Н. Солодилов (1988–2004), И.Н. Кадурин (2004–2005), И.А. Липовецкий (2005–2006) и А.В. Маухин (2006–2017).

Первоначально предусматривавшийся в качестве специализированного предприятия по выполнению «закрытых» для широкой общественности работ, связанных с применением мирных ядерных взрывов (далее МЯВ), Центр ГЕОН в скором времени превратился в одну из ведущих научно-производственных организаций страны, к основным направлениям деятельности которой стали относиться [10, 11]:

исследования земной коры и верхней мантии методом глубинного сейсмического зондирования (ГСЗ) и обменных волн землетрясений (МОВЗ) вдоль сверхдлинных (первые-несколько тысяч км) опорных профилей — геотраверсов;

изучение строения земной коры и сейсмичности сейсмоактивных регионов СССР (впоследствии — России) вдоль профилей МОВЗ и проведение сейсмогеодинамического мониторинга на полигонах с целью разработки методики средне- и краткосрочного прогноза землетрясений, а также специализированного сейсмологического мониторинга на территории городских и промышленных агломераций, крупных и опасных промышленных объектов;

анализ и обобщение результатов геофизических работ с целью создания комплексных геолого-геофизических моделей, карт, схем и атласов глубинного строения крупных геологических и минерально-сырьевых провинций и установления глубинных критериев их нефтегазоносности и рудоносности;

разработка новых аппаратурных средств и технологий в области геофизических методов разведки.

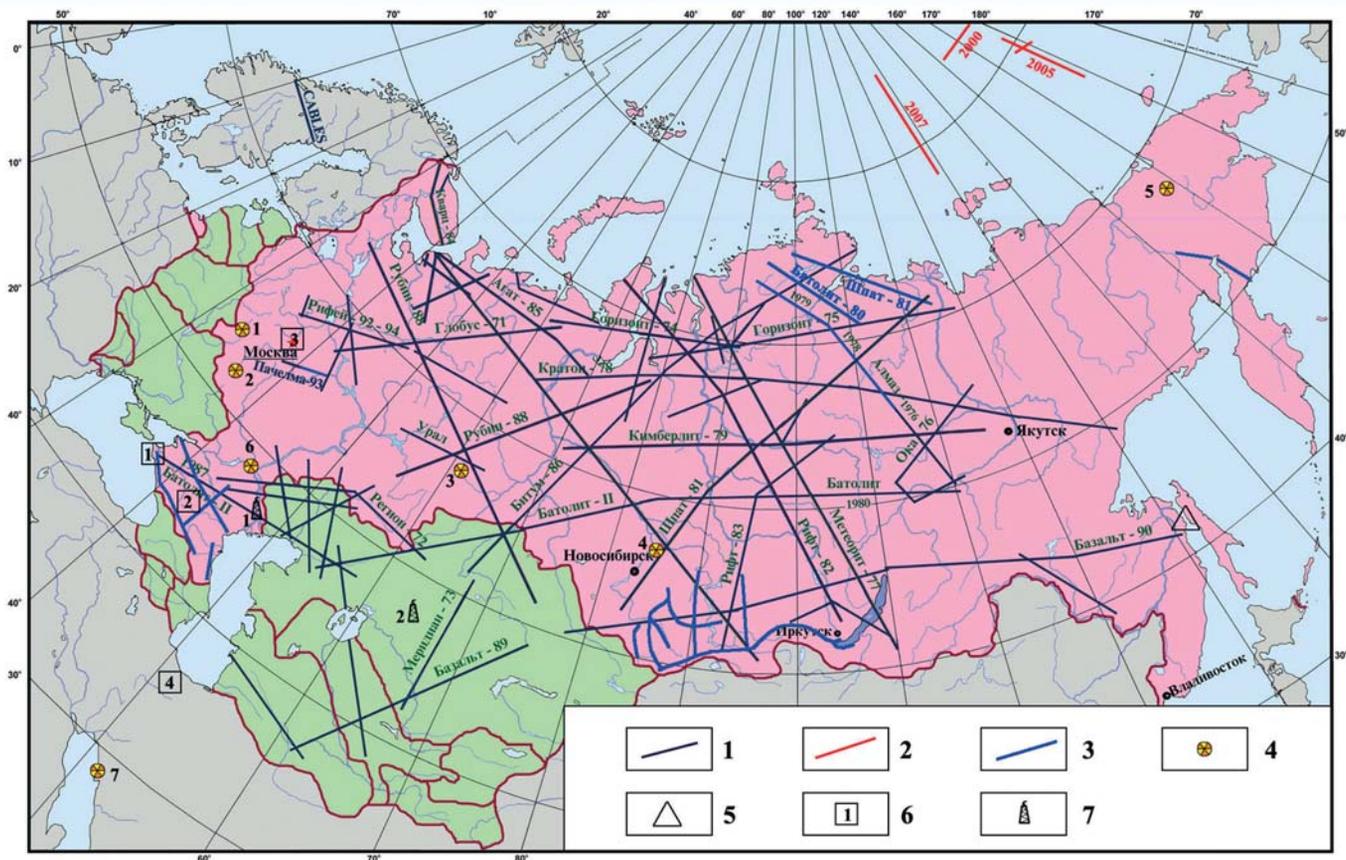
Широкое развитие в рамках деятельности организации получили также сейсмические работы на нефть и газ и инженерные геолого-геофизические исследования. В качестве отдельных направлений работ выступали грави- и магнитометрические измерения, подготовка картографических изданий.

Причастность работ Центра ГЕОН к «ядерной тематике» долгое время, вплоть до начала девяностых годов прошлого столетия, не позволяла широко освещать характер деятельности предприятия и распространять полученные им результаты. Последующее снятие ограничений незамедлительно привело к лавинообразному росту к ним интереса и востребованности, как в пределах страны, так и за рубежом [10, 14]. Помимо проводимых преимущественно АН СССР глубинных сейсмических исследований Центром ГЕОН на территории быв. СССР создана сеть опорных глубинных сейсмических профилей, общая протяженность которых превышает 60 тыс. км (рис. 1). Профили пересекают практически все основные геологические провинции страны: Восточно-Европейский кратон, Тимано-Печорскую провинцию, Скифскую плиту, Прикаспийскую впадину, Тиман, Урал, Западно-Сибирскую плиту, Сибирский кратон, а также окружающие и прилегающие складчатые области Кавказа, Алтае-Саяна, Забайкалья, Таймыра и Верхояно-Чукотского региона.

Результаты региональных глубинных сейсмических исследований земной коры и верхней мантии стали опорными для всех геофизических работ, выполняемых не только различными модификациями сейсмического метода (КМПВ, МОВ, МОВ-ОГТ, сейсмомография), но и глубинных электроразведочных исследований (МТЗ), обработки и интерпретации потенциальных полей, теплотметрических и геохимических измерений.

До начала 1970-х годов работы Центра ГЕОН носили опытно-методический характер и выполнялись по отдельным заданиям Мингео СССР. Системный вид они приобрели после принятия в 1972 г. программы «Система регионального изучения коры и верхней мантии вдоль геотраверсов, проложенных через районы бурения глубоких и сверхглубоких скважин» [5], продолжающейся в актуализированном виде до настоящего времени в рамках «Создания государственной сети опорных геолого-геофизических профилей, параметрических и сверхглубоких скважин» в составе государственной программы РФ «Воспроизводство и использование природных ресурсов» (утверждена Постановлением Правительства РФ от 15 апреля 2014 г. № 322).

В качестве базовых источников упругих колебаний применялись МЯВ и химические взрывы мощностью до 4–5 т в тротиловом эквиваленте, размещенные вдоль профиля на расстоянии до 1000 км и более и 40–100 км соответственно. Помимо контролируемых источников сейсмических волн (взрывов) с 1974 г. при работах стали регистрироваться «попутные» события от крупных техногенных и природных (землетрясе-



**Рис. 1. Схема расположения основных объектов работ Центра ГЕОН (1969–2017 гг.).** 1–3 — опорные и региональные профили: 1 — ГСЗ и ГСЗ-МОВЗ, 2 — морские ГСЗ, 3 — МОВЗ и МОВЗ-МТЗ; 4 — объекты сейсмологического мониторинга на АЭС: 1 — Смоленская, 2 — Курская, 3 — Белоярская, 4 — Северская, 5 — Билибинская, 6 — Ростовская, 7 — Бушерская (Иран); 5 — район транспортного перехода о. Сахалин — материк; 6 — полигоны (объекты) сейсмогеодинамического мониторинга: 1 — Геледжикский, 2 — Кавминводский, 3 — Москва, 4 — Тегеран (Иран); 7 — сейсмологические исследования на действующих месторождениях: 1 — Астраханское ГКМ, 2 — Северный Кумколь (Казахстан)

ния) событий с использованием разработанной А.Н. Мозженко и И.В. Померанцевой во ВНИИГеофизика технологии МОВЗ.

Для выполнения полевых наблюдений первоначально использовались до 400 и более автономных аналоговых сейсмических станций «Тайга» и «Черепаша», которые размещались с интервалом около 10 км вдоль линии наблюдения протяженностью от нескольких сотен до 3000 км и более. Принципиальным моментом в производстве работ было одновременное включение всех станций для регистрации МЯВ. Начиная с 1993 г., аналоговая аппаратура поэтапно была заменена на отечественные цифровые регистраторы серии «Дельта», разработанные по инициативе Л.Н. Солодилова в сотрудничестве со специалистами НИИ Приборостроения (НИИП им. В.В. Тихомирова). При всех наблюдениях в обязательном порядке регистрировались три компоненты смещения почвы (одна вертикальная и две горизонтальные) и выполнялась совместная обработка и интерпретация рефрагированных (преломленных) продольных и поперечных, отраженных продольных и поперечных и обменных сейсмических волн, что существенно увеличивало не только надежность и достоверность результатов работ, но и обеспечивало получение комплексной всесторонней информации.

Для обработки и геологической интерпретации полученных материалов, проводимых под руководством А.В. Егоркина, применялись новейшие российские и зарубежные апробированные процедуры, постоянно дополнявшиеся собственными модернизациями и разработками: частотная и скоростная фильтрация (совместно с сотрудниками ИФЗ РАН), поляризационный анализ сейсмограмм, технология расчета пластовых скоростей, количественная оценка содержания кремнезема в земной коре и т.д. По изменениям амплитудно-частотных спектров сейсмических волн с расстоянием рассчитывались коэффициенты эффективного поглощения сейсмической энергии, для построения разрезов был освоен и внедрен в практику метод математического моделирования по алгоритму Zelt и т.д. [3, 11, 14].

Получивший развитие на региональных профилях метод МОВЗ в основе обработки содержит построение временных разрезов методом приемных функций продольных волн удаленных землетрясений в модификации Л.П. Винника (ИФЗ РАН) с использованием деконволюции и накопления сигнала. Временные разрезы в виде монтажей стандартизированных волновых форм преобразовывались в динамические и глубинные с использованием скоростных характеристик по данным

ГСЗ. Впервые была реализована комплексная увязка результатов различных методов на основе применения единых скоростных законов. При работах в сейсмоактивных районах скоростные параметры среды задавались в виде набора одномерных скоростных моделей, рассчитанных по программе В.Ю. Бурмина (ИФЗ РАН) по временам вступления продольных и поперечных волн от местных землетрясений и взрывов из карьеров. Подбор глубинной модели осуществлялся методом лучевого моделирования по технологии SeisWide.

Времена прихода продольных волн от телесейсмических событий обеспечили построение двумерных томографических моделей земной коры и верхней мантии до глубины 250 км. Подобные исследования были проведены Центром ГЕОН в пределах Балтийского щита, Восточно-Европейской платформы, Среднего Урала, Прикаспийской впадины, кряжа Карпинского и Западного Саяна. Расчет скоростных моделей включал определение средневзвешенных невязок экспериментального и эталонного (модель IASP 91) годографов времен пробега продольных и поперечных волн и обращение их согласно алгоритма К. Аки в скоростные неоднородности литосферы по программе А.В. Треусова (ИФЗ РАН).

Геофизические и полученные на основе их интерпретации геологические результаты глубинных сейсмических исследований Центра ГЕОН остаются актуальными и часто уникальными вплоть до настоящего времени [1, 2, 5, 10–14]. Вдоль всех отработанных геотраверсов составлены глубинные сейсмические разрезы земной коры, на которых прослежены не только опорные геолого-геофизические разрезы: фундамент и поверхность Мохоровичича, но и границы в осадочном комплексе, в консолидированной части коры и в верхней мантии. Определены скоростные параметры среды по продольным и поперечным волнам, в консолидированной части коры выделены домены с преобладающими размерами по латерали около 40–50 км и разделяющие их границы и зоны, интерпретируемые в качестве глубинных разломов. По соотношению скоростей продольных и поперечных волн оконтурены физические и прогнозируемые по ним вещественные неоднородности коры, рассчитаны количественные значения содержания кремнезема в геологических комплексах, установлено распределение сейсмической добротности, проведена классификация структур по соотношению мощностей верхнего условного «гранитного» со скоростью Р-волн 6,0–6,4 км/с, «промежуточного» (6,4–6,7 км/с) и нижнего условного «базальтового» (6,7–7,2 км/с) внутрикорковых слоев и т.д. [3, 10].

Фундаментальные результаты были получены для верхней мантии и переходной зоны к нижней мантии (рис. 2).

Для Западной и Восточной Сибири впервые установлено полиастеносферное строение верхней мантии до глубины 300 км, прослежены региональные сейсмические границы на глубинах около 100, 150, 220 и 300 км (ранее по сейсмологическим данным была известна одна граница Леман на глубине около 200–220 км) и выделена промежуточная граница в переходной зоне к нижней мантии на глубине 520 км с перепадом скорости от 9,7 до 9,9 км/с (ранее выделялись границы на 410 и 660 км).

По данным сейсмотомографии на границе Балтийского щита и Русской плиты выделена субвертикальная область пониженной скорости до глубины 100 км, маркирующая сейсмогеодинамическую зону Брюгера-Полканова, в пределах которой происходит смена знака современных вертикальных движений литосферы и генерируются землетрясения до 6–7 баллов. В верхней мантии Прикаспийской впадины установлено понижение скоростных характеристик, по всей вероятности, отражающее ее энергетически возбужденное состояние. Получены глубинные (до 250 км) доказательства надвижения Западно-Сибирской литосферной плиты на Восточно-Европейскую и т.д. [4]. Материалы Центра ГЕОН были использованы новосибирскими специалистами из ФГУП «СНИИГиМС» под руководством академика В.С. Суркова для сейсмотомографических построений на основе временных задержек первых вступлений рефрагированных волн. Была получена дополнительная информация о структуре земной коры нефтегазоносных провинций Западной и Восточной Сибири [13].

Практически в каждом исследованном Центром ГЕОН регионе была получена новая геологическая информация. В Европейской части России выявлены особенности строения Мезенской системы рифтов, Среднерусского и Пачелмского авлакогенов Восточно-

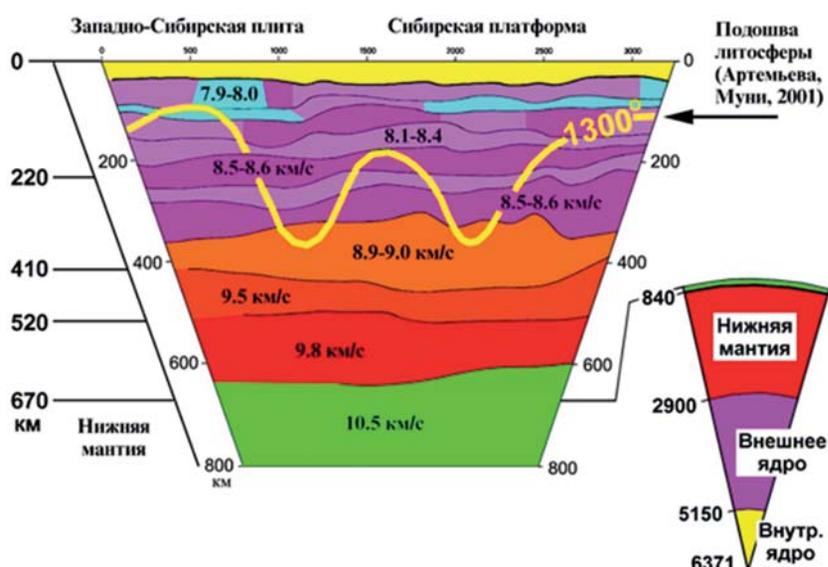


Рис. 2. Структура верхней мантии Сибири по результатам глубинных сейсмических зондирований с применением МЯВ (Центр ГЕОН, профиль «Кратон»). Цифры на разрезе обозначают скорости продольных волн, км/с

Европейской платформы, уточнена мощность чехла в Предуральском прогибе, расшифрована глубинная структура Кряжа Карпинского и Прикаспийской впадины. Аргументирована шарьяжная глубинная структура Урало-Пайхойской складчатой области. На севере Западной Сибири доказано наличие мощных (до 4 км и более) палеозойских отложений в глубокой (до 14 км и более) Пур-Гыданской впадине, оценена мощность промежуточного домезозойского комплекса на всей территории провинции, уточнено строение и выделены дополнительные грабены Западно-Сибирской рифтовой системы. В Восточной Сибири впервые получены данные о глубинном строении Енисей-Хатангского прогиба, мощность земной коры в котором сокращается до 34–36 км, оценена мощность коры в Тунгусской синеклизе (до 51 км) и получены первые сейсмические доказательства о присутствии в ее пределах в низах чехла рифейских осадочных образований мощностью до 4 км и более. Подтверждено утонение консолидированной коры в Вилюйской синеклизе до 20 км и сформулированы глубинные критерии коренной алмазности в Якутской кимберлитовой провинции. В Норильском горно-рудном узле выделен внутрикоровый магматический очаг и глубинные разломы, предположительно контролирующие область развития рудосодержащих магматических комплексов. На юго-восточной границе Сибирской платформы расшифрована надвиговая структура Сетте-Дабанского антиклинория, охватывающая всю земную кору, и т.д. Полученные материалы сыграли существенную роль при уточнении перспектив нефтегазоносности осадочных бассейнов, обеспечив оценку мощности чехла, его расчленение на крупные литолого-стратиграфические комплексы, включая выделение рифовых образований, и распознавание структур, которые могут контролировать размещение ловушек или представлять собой объекты для скопления углеводородов.

Особое место занимают глубинные исследования Центра ГЕОН для обоснования внешней границы континентального шельфа (ВГКШ) России в Северном Ледовитом океане. Работы выполнялись в рамках комплексных геолого-геофизических мероприятий ФГБУ «ВНИИ-Океангеология» под руководством В.Д. Каминского и В.А. Поселова в составе экспедиций «Арктика-2000», «Арктика-2005» и «Арктика-2007» (рис. 1, 3). Объемы выполненных наблюдений ГСЗ составили около 1600 км. Уникальная технология авиадесантных работ с регистрацией упругих колебаний от подводных взрывов станциями «Дельта-Геон», размещенными на ледовой поверхности, позволили

создать взаимоувязанную систему годографов преломленных и отраженных волн и получение геологической информации по строению поднятия Менделеева, хребта Ломоносова и обрамляющих их структур. В 1982 г. сотрудники Центра ГЕОН Е.Е. Золотов и В.А. Ермилов участвовали в составе 28-й Антарктической экспедиции и провели работы методом МОВЗ в Восточной Антарктиде.

Изучение сейсмоопасных зон с целью разработки методики прогноза землетрясений в Центре ГЕОН было начато в конце 1970-х годов на основе гравиметрических и сейсмологических наблюдений, проводимых под руководством А.Ш. Файтельсона на Северном Кавказе. Новый этап начался с 1980 г. циклом сейсмических исследований партии С.У. Кухмазова, в результате которых по записям местных землетрясений и промышленных взрывов было установлено многократное понижение сейсмической добротности верхней коры района г. Эльбрус по сравнению с окружающими областями. В 1988 г. была организована сейсмическая партия «Земля» под руководством И.В. Померанцевой.

После Спитакского катастрофического землетрясения магнитудой 6,9, практически полностью разрушившего город в 1988 г., работы приобрели системный характер. Непосредственно после трагических событий под руководством И.Н. Кадурина и А.Г. Фремда были проведены глубинные исследования земной коры очаговой зоны и прилегающих районов. Полученные результаты в комплексе с электроразведочными данными были оценены как новый уровень геолого-геофизического познания, который не может быть сопоставлен с материалами предыдущих исследований. В результате работ были намечены участки повы-



Рис. 3. Сотрудники Центра ГЕОН — участники экспедиции «Арктика-2007» рядом с ледоколом «Россия». В центре директор Центра ГЕОН А.В. Маухин

шенной сейсмической опасности, а технико-технологические решения были рекомендованы в качестве важнейшей составной части концепции комплексного изучения сейсмоопасных зон СССР [7].

С 1999 по 2005 г. Центр ГЕОН являлся головной организацией МПР России, обеспечивавшей исполнение Постановления Правительства РФ от 11.05.1993 г. № 444 «О Федеральной системе сейсмологических наблюдений и прогноза землетрясений» в сейсмоактивных районах России. Совместно с ООО «Центр ЭМИ» и ООО «Северо-Запад» с 1989 по 2004 г. проводились профильно-площадные работы на территории Северного Кавказа и Предкавказья [2]. Специалисты Центра ГЕОН принимали участие в составлении разномасштабной (1:2500 000, 1:1000 000 и 1:500 000) сеймотектонической основы для сейсмического районирования, в том числе Кавминводского района, Минераловодского выступа, Восточно-Европейской платформы и среднего Урала. На основе разработанных в организации технологий комплексного использования результатов геофизических методов МОВЗ, электроразведки и гравиразведки были проведены оценки геологических рисков Анапско-Новороссийского, Дагестанского районов и Грозненской очаговой зоны. Для Минераловодского сейсмоактивного выступа установлена связь местной сейсмичности с зоной максимальных градиентов скоростных параметров в коре.

Региональные наблюдения на Кавказе и в Предкавказье с 1995 г. сменились сейсмогеодинамическим мониторингом состояния среды на полигонах с целью разработки методики средне- и краткосрочного прогноза землетрясений. В соответствии с Федеральной целевой программой «Развитие федеральной системы сейсмологических наблюдений и прогноза землетрясений» под руководством Л.Н. Солодилова, И.Н. Кадурина и Ю.Ф. Коновалова были организованы мониторинговые наблюдения сетью из 9–11 цифровых станций «Альфа-Геон» (позже «Дельта-Геон») на территории Кавминводского полигона Приэльбрусско-Минераловодского сейсмоопасного района. По результатам изучения пространственно-временных вариаций параметров местной сейсмичности и энергетических характеристик зарегистрированных обменных волн от далеких землетрясений была установлена их взаимосвязь, обусловленная динамическими изменениями напряженного состояния земной коры [6, 8]. Разработанные технология оценки напряженного состояния среды и на ее основе принципы прогнозирования сейсмических событий впоследствии были распространены на мониторинговые исследования на Геленджикском полигоне (обслуживался ФГУП ГНЦ «Южморгеология»), а также при организации сейсмогеодинамических наблюдений в Исламской Республике Иран (г. Тегеран, 2004–2005 гг.).

После 2005 г. на протяжении 10 лет Центр ГЕОН являлся головным исполнителем работ МОВЗ и МТЗ по заказу Департамента по недропользованию по Сибирскому федеральному округу на территории Алтае-Саянской складчатой области. Общая протяженность

выполненных профилей превысила 4000 км [9]. Совместно с ГПКК КНИИГиМС и ООО «Северо-Запад» были уточнены глубинные особенности тектонического строения, установлена расслоенность и блоковая делимость земной коры, выявлены связи скоростных и геоэлектрических неоднородностей с локальной сейсмичностью в пределах зон возможных очагов землетрясений (ВОЗ).

На севере Камчатского края в 2005 г. Центр ГЕОН и ООО «Северо-Запад» провели профильные работы МОВЗ и МТЗ вдоль маршрута мыс Корф — р. В. Пенжина длиной 500 км. Впервые было изучено глубинное строение земной коры района исследований, включая эпицентральную зону Хаилинского землетрясения магнитудой 7, состоявшегося 8 марта 1991 г. Установлено, что генерация сейсмической активности приурочена к зоне контакта террейнов с корой островодужного типа. Ее сейсмоактивный характер подтвердило последующее Олюторское землетрясение магнитудой 7,6, произошедшее 20 апреля 2006 г.

Специализированный сейсмологический мониторинг, имеющий также инженерно-геологическое значение, выполнялся на территории крупных городов (Москва, Тегеран), промышленных агломераций и особо важных объектов, таких как Билибинская, Ростовская, Белоярская и другие атомные электростанции в России и Бушерская — в Республике Иран, а также в районе Астраханского газоконденсатного месторождения (1996 г.) и нефтяного месторождения Кумколь в Казахстане (2016 г.) и др. (рис. 1).

В 2001 г. по договору с ОАО «Трансмест» проведены площадные исследования по детальному сейсморайонированию участка пролива Невельского с целью выбора створа железнодорожного перехода между материком и островом Сахалин. Для производства работ использовались цифровые автономные станции «Дельта-Геон» и донные станции «Садко», разработанные в Центре ГЕОН. В результате регистрации местных, близких и удаленных землетрясений была уточнена сеймотектоническая модель среды, сыгравшая свою роль в выборе места строительства [12].

По заказу Департамента городского строительства Москвы и Москомархитектуры в рамках научно-исследовательской темы «Оценка сейсмических воздействий на здания высотной застройки на основе результатов проведения детального сейсмического районирования юго-западного сектора Москвы и анализ полученных результатов» в 2007–2008 гг. Центр ГЕОН выполнил работы по оценке реакции грунтов на упругие колебания, вызываемые проходящими волнами от землетрясений. Проведение работ потребовало адаптации технологии мониторинга к городским условиям, характеризующимся неравномерной плотностью городской застройки, наличием сильных техногенных шумов, движением транспортных средств и ограниченностью выбора мест размещения аппаратуры. В результате получены записи далеких землетрясений с магнитудой 5,3 и выше и микросейсмического фона. На территории юго-западного сектора Москвы выделены

блоки земной коры, по-разному реагирующие на сейсмические воздействия независимо от азимута прихода упругих волн, рекомендованные для учета при проведении детального сейсмического районирования.

С 2008 по 2010 г. по заказу ООО «Атомсейсмоизыскания» проводились работы по площадному мониторингу местных и близких землетрясений для сейсмического микрорайонирования предполагаемых площадок строительства Северной АЭС. Локальная сеть включала 13 станций «Дельта-Геон».

Высокоразрешающие инженерные геолого-геофизические исследования начали проводиться организацией со второй половины 1970-х годов, когда были организованы высокоточные гравиметрические наблюдения за наполнением подземного хранилища газов под г. Калуга. Уникальные гравиметрические наблюдения были выполнены для изучения провальных воронок у Боровицких ворот Кремля и здания ТАСС. Были разработаны технологии и проведены сейсмические инженерные наблюдения для изучения карсто-суффозионных процессов в Хорошевском и Рублевском районах г. Москвы и выявления причин изменения наклона Храма Василия Блаженного на Красной площади. При изучении причин затопления подвала Вознесенского собора в г. Новочеркасск были прослежены пути миграции воды под сооружением и даны рекомендации по устранению негативных явлений [10].

Разработка новых аппаратурно-технических средств занимала одно из важных мест в деятельности Центра ГЕОН. Первоначально при выполнении сейсмических работ на региональных опорных профилях применялась автономная аналоговая сеймостанция «Тайга-1», разработанная под руководством И.С. Чичинина и выпускавшаяся в период с 1969 по 1973 г. на опытном заводе СО АН СССР в г. Новосибирск (в СОМГЭ было направлено 210 регистраторов). Впоследствии с целью обеспечения непрерывной записи сейсмических сигналов до 15 сут, необходимых для регистрации землетрясений, на Алма-Атинском заводе «Казгеофизприбор» была разработана станция «Черепаша» и ее модификация «Карс», в составлении технического задания которой, последующих испытаниях и внедрении принимали участие специалисты Центра ГЕОН. К 1985 г. парк аппаратуры в организации составил 520 единиц, что более чем в два раза превышало количество одноканальных регистраторов в США [10].

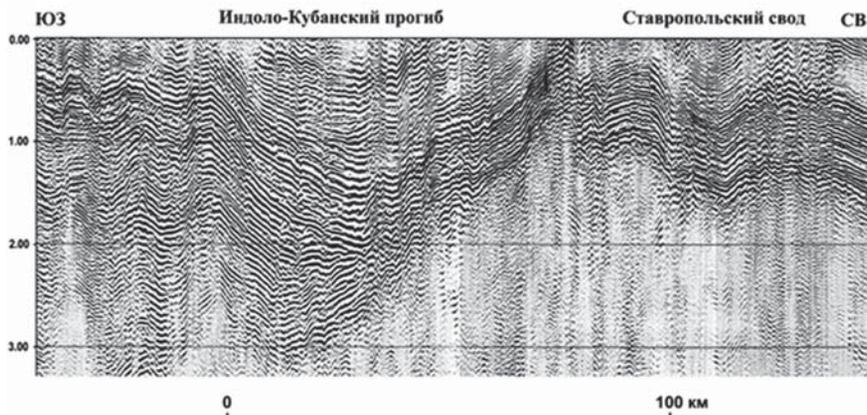
В конце 1980-х годов по инициативе Л.Н. Солодилова развернулись работы по созданию нового цифрового поколения сейсмических станций. В содружестве с НИИП им. В.В. Тихомирова и ООО «Логис» были разработаны и изготовлены (первая партия из 30 шт. была выпущена в 1993 г.) автономные регистраторы сейсмических колебаний «Альфа-Геон» и сменившая их серия «Бета-, Гамма- и Дельта-Геон». Было выпущено более 300 регистраторов, обеспечивающих одновременное проведение работ ГСЗ и МОВЗ, из которых 250 использовались в Центре ГЕОН. По своим технико-технологическим параметрам и удобству применения данная аппаратура превосходила все имев-

шиеся в то время зарубежные аналоги. Была достигнута высочайшая надежность в эксплуатации станций во всех географических и климатических зонах страны, включая пустыни, тайгу, тундру, горные области и высокоширотную часть Арктики. Сейсмическая станция «Дельта-Геон» удостоена золотой медали Первого международного салона инноваций и инвестиций (Москва, ВВЦ, 7–10.02.2001). Эти регистраторы до сих пор находятся в работе и представляют яркий пример не импортозамещения, а безусловного лидерования российских сейсмических аппаратурных средств на мировом рынке. Выпускаемые ООО «Логис» в настоящее время модификации «Дельта-Геон-02» и модернизированная «Дельта-Геон-02М», имеющая встроенный GPS-приемник и Ethernet-интерфейс со скоростью передачи информации 10 Мбит/с и диапазон регистрируемых частот от 0,1 до 240 Гц, позволяют дополнительно выполнять наблюдения ОГТ.

Развитие аппаратурного ряда выразилось в создании донных станций «Садко» для работ на море до глубины воды 2000 м (использовались при инженерно-сейсмологических работах в проливе Невельского). Совместно с специалистами НИИП им. В.В. Тихомирова сотрудники Центра ГЕОН принимали участие в создании 24-х канальной переносной сейсмической станции «Лакколит» и радиолокационного георадара для производства инженерных работ. Для обеспечения «малоглубинной» сейсморазведки совместно с ОАО СКБ ИТ (г. Армавир) был разработан автомобильный образец погружного вибратора, показавший эффективность, эквивалентную 8 кг [10].

Сейсморазведочные работы на нефть и газ, выполненные Центром ГЕОН при пересечении профилями ГСЗ и МОВЗ нефтегазоносных провинций, по своим масштабам отвечали региональной стадии исследований. В 2001–2002 гг. по заказу ООО «Лукойл-Саратов-нефтедобыча» были выполнены целевые работы МОВЗ по изучению подсолевых отложений чехла и фундамента на лицензионных участках Черная впадина и Восточно-Алтайский в северной бортовой зоне Прикаспийской впадины. Наблюдательная сеть включала до 100 станций.

Новый импульс нефтегазопроисследовательское направление получило после прихода в организацию Д.Л. Федорова — первого председателя Государственного комитета РСФСР по геологии и использованию топливно-энергетических и минерально-сырьевых ресурсов в правительстве И.С. Силаева (1990–1991). Начиная с 1998 г., в рамках выполнения Программы глубинных геолого-геофизических исследований на Кавказе и в Предкавказье отработано более 750 км профилей МОГТ, сопровождавшихся глубинными исследованиями ГСЗ-МОВЗ, анализом и моделированием потенциальных полей, сбором имеющейся в регионе геолого-геофизической информации и систематизацией существующих признаков нефтегазоносности мезозойского чехла и палеозойского комплекса. Получены детальные сведения о строении осадочных образований, выделены структуры, перспективные в нефтегазоносном



**Рис. 4.** Временной сейсмический разрез МОГТ (время двойное в секундах) через Ставропольский свод и Восточно-Кубанскую впадину вдоль профиля с. Донское-г. Ставрополь-п. Мостовской (Центр ГЕОН, 2003)

отношении (рис. 4). По наличию в палеозойском этапе устойчивых отражений и изменений в характере сейсмических записей выделено пять сейсмогеологических типов разрезов, представляющих интерес с точки зрения постановки нефтегазопоисковых работ. Масштабные исследования были проведены по инициативе Д.Л. Федорова в пределах Московской синеклизы в период с 1998 по 2003 г. в рамках Федеральной программы «Оценка перспектив нефтегазоносности рифей-вендских отложений Русской платформы», получившей название «Рифей», завершившейся бурением двух поисковых скважин.

Анализ и обобщение результатов выполненных работ осуществлялись с целью создания геолого-геофизических моделей, карт и атласов глубинного строения коры и верхней мантии, а также уточнения структурно-тектонического районирования исследованных территорий, разработки эволюционных моделей геологических объектов, установления глубинных критериев формирования, транспортировки и локализации на технически доступных глубинах месторождений полезных ископаемых, а также разработки рекомендаций по дальнейшим направлениям работ и восполнению минерально-сырьевой базы.

В рамках тематических работ, проводимых специально созданной партией под руководством С.Л. Костюченко, выполнялась частичная переобработка ранее полученных данных на профилях ГСЗ и МОВЗ на основе новой информации, сбор, анализ и увязка на базе опорных профилей сейсмических материалов других исследований, интерпретация и обобщение комплекса данных с привлечением грави-магнитометрической информации, глубинных электроразведочных работ, теплового поля Земли и др. К принципиальным особенностям работ относилась увязка разнометодных сейсмических материалов с использованием единых скоростных законов, применение принципа инверсии физических полей, не противоречия и дополнения при осмыслении результатов различных методов. Для подавляющей части глубин-

ных разрезов земной коры были построены сейсмоплотностные модели, дополненные сведениями о размещении магнитоактивных тел и слоев с различными параметрами электропроводимости.

Территории обобщения не ограничивались полосами вдоль региональных профилей и участками их пересечения, а охватывали всю площадь крупных нефтегазоносных и рудных провинций, тектонических структур, узлов и участков развития месторождений полезных ископаемых: Балтийского щита, Русской плиты, включая Мезенскую и Московскую синеклизы, Волго-Уральскую антеклизу и Прикаспийскую впадину, Скифской

плиты, Тимано-Печорской провинции, Западно-Сибирской нефтегазоносной провинции, Сибирской платформы, а также Урала, Алтае-Саянской, Забайкальской и Верхояно-Чукотской складчатых областей (рис. 5).

Далеко не полное описание деятельности Центра ГЕОН за его 50-летнюю историю нельзя завершить без упоминания о фундаментальном значении многих полученных результатов и их международной оценке. 13–16 апреля 1997 г. в Москве состоялось расширенное научное совещание под эгидой НАТО (ARW — NATO Advanced Research Workshop) «Неоднородности верхней мантии по данным активной и пассивной сейсмологии», к основным вопросам которого относились: представление экспертам со всего мира сейсмических результатов, полученных в СССР вдоль сверхдлинных профилей в цифровом формате с использованием МЯВ и встреча экспертов в области глубинных сейсмических исследований, участвующих в всеобъемлющем запрещении ядерных испытаний (СВТ). Совещание собрало около 70 представителей со всего мира. Несомненно, центральной задачей была попытка ознакомления с ранее «закрытыми» материалами быв. Советского Союза, но она лавинообразно переросла в представление уникальной научной информации в области физических, химических и тектонических особенностей строения Земли на международной конференции 17–19 апреля 1997 г. «Структура верхней мантии на основе комплексного геологического и геофизического изучения», организованной в г. Москва международной программой EUROPROBE.

Центр ГЕОН получил международное признание и стал постоянным участником крупных транснациональных (Eurobridge, SELEBRATION-2000), зарубежных и национальных (Cables, Svekopalpo, Timpebar) геологических и геофизических проектов. Специалисты Центра ГЕОН участвовали совместно с зарубежными исследователями в проведении полевых работ, обработке, обобщении, сопоставлении, геологической интерпретации и в итоге — получении новых знаний в области наук о Земле, а также разработке новых проектов, направленных на совершенствование аппаратных средств, мето-

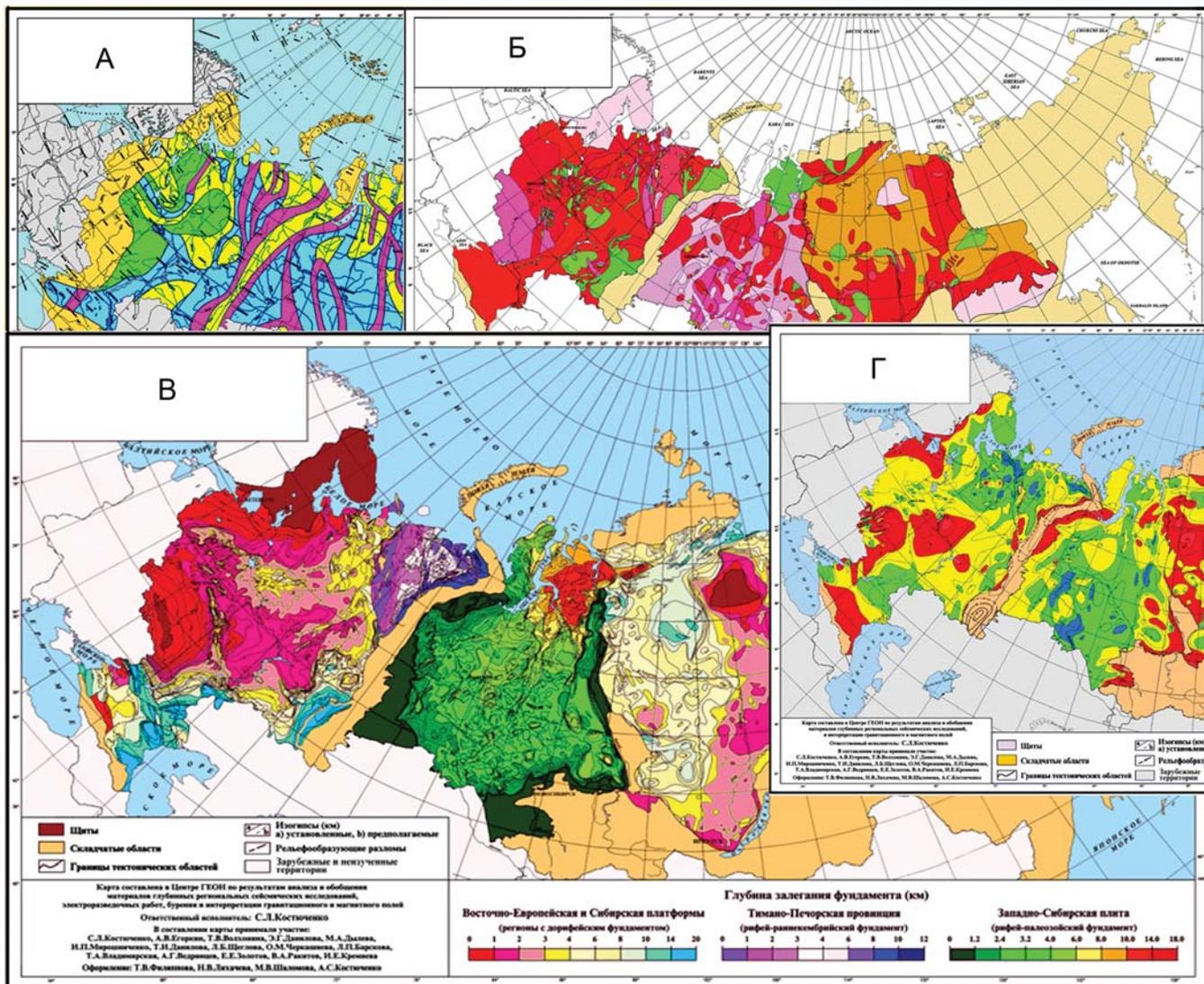


Рис. 5. Геологические и геофизические карты платформенных территорий России, составленные в центре ГЕОН, масштаб 1:10 000 000 – 1:2 500 000: А — поглощение сейсмической энергии в консолидированной коре, Б — распределение скорости продольных сейсмических волн в кровле консолидированной коры (км/сек), В — поверхность фундамента платформенных территорий России, Г — рельеф кровли мантии платформенных территорий России

дики и технологии геофизических исследований. За короткий срок сотрудниками Центра ГЕОН было опубликовано свыше 200 работ. Полученные материалы вошли в ряд фундаментальных монографий, одной из которых является «Строение и динамика литосферы Восточной Европы. Результаты исследований по программе EUROPROBE», вышедшей на английском и русском языках в 2006 г. Результаты исследований регулярно докладывались на крупнейших международных и российских конгрессах, съездах, конференциях и выставках. В перечень базовых научных конференций России вошли получившие международное признание «Геофизические чтения им. В.В. Федынского», организованные и регулярно проводившиеся Центром ГЕОН с 1999 по 2008 г. и сопровождавшиеся выпуском сборников трудов серии «Геофизика XXI столетия».

#### Заключение

Организации, как люди, рождаются, проходят стадию развития, находят свое место в сложной и много-

гранной системе производственных и социальных отношений и раньше или позже уходят в историю. И от того, какой след они оставили в социально-экономической сфере, в профессиональной отрасли, какие результаты были привнесены в копилку человеческих знаний и научных достижений — они занимают соответствующее место в памяти потомков.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Атлас «Опорные геолого-геофизические профили России. Глубинные сейсмические разрезы по профилям ГСЗ, отработанным в период с 1972 по 1995 год» / Электронное издание на CD-R. Роснедра ВСЕГЕИ, 2013. Номер государственной регистрации — 0321304843.
2. Белявский, В.В. Методы естественных электромагнитных и сейсмических полей при решении задач геодинамики (на примере Северного Кавказа) / В.В. Белявский, А.В. Егоркин, Л.Н. Солодилов и др. // Физика Земли. — 2007. — № 4. — С. 4–14.
3. Егоркин, А.В. Глубинное строение территории СССР / А.В. Егоркин. — М.: Недра, 1991. — С. 44–64.
4. Золотов, Е.Е. Глубинное строение литосферы Восточно-Европейской платформы по результатам сейсмологических наблюдений / Е.Е. Золотов, С.Л. Костюченко, В.А. Ракитов и др. // Разведка и охрана недр. — 1998. — № 2. — С. 11–13.

5. Козловский, Е.А. Комплексная программа глубинного изучения земных недр / Е.А. Козловский // Сов. геология. — 1982. — № 9. — С. 3–12.
6. Коновалов, Ю.Ф. Геодинамические полигоны — новое направление в развитии разведочной геофизики / Ю.Ф. Коновалов, С.У. Кухмазов, О.Г. Попова // Геофизика. — 2008. — № 2. — С. 45–51.
7. Михальцев, А.В. Глубинные геофизические исследования в сейсмоопасных зонах / А.В. Михальцев, Ю.К. Шукин, Л.Н. Солодилов и др. // Разведка и охрана недр. — 1990. — № 11. — С. 6–13.
8. Попова, О.Г. Мониторинг сейсмогеодинамической обстановки Кавказских минеральных вод / О.Г. Попова, Ю.Ф. Коновалов, С.У. Кухмазов, И.Н. Кадури // Разведка и охрана недр. — 1998. — № 2. — С. 16–19.
9. Ракитов, В.А. Глубинное строение Алтае-Саянского региона по результатам геофизических исследований методами МОВЗ и МТЗ / В.А. Ракитов, Е.Д. Алексанова, В.С. Андреев и др. / Глубинное строение и сейсмичность Восточно-Европейской платформы и прилегающих районов / Матер. XX конф. — Воронеж: Научная книга, 2016. — С. 319–324.
10. Солодилов, Л.Н. Центр ГЕОН им. В.В.Федынского — 35 лет научных исследований и производственных работ / Л.Н. Солодилов // Разведка и охрана недр. — 2003. — № 2. — С. 2–9.
11. Солодилов, Л.Н. Глубинные сейсмические зондирования земной коры / Л.Н. Солодилов / Ядерные взрывные технологии: эксперименты и промышленные применения — Снежинск, ФГУП РФЯЦ-ВНИИТФ, 2017. — С.184–219.
12. Солодилов, Л.Н. Глубинное строение пролива Невельского и прилегающих областей по данным геофизических исследований / Л.Н. Солодилов, Ю.Ф. Коновалов, А.В. Егоркин и др. / Строение, геодинамика и металлогения Охотского региона и прилегающих частей северо-западной Тихоокеанской плиты / Матер. симпозиума 24–28 сентября 2002 г. — Ю.-Сахалинск. — Т. 1. — С. 129–131.
13. Сурков, В.С. Сейсмическая томография при изучении земной коры Сибири / В.С. Сурков, В.Л. Кузнецов, А.С. Сальников и др. // Региональная геология и металлогения. — 2000. — № 10. — С. 117–124.
14. Solodilov, L.N. The GEON Center: 25 Years of Implementation of PNE in Studies of Earth's Deep Structure / L.N. Solodilov / Upper Mantle Heterogeneities from Active and Passive Seismology. Edd. Karl Fuchs. — 1997. — P. 1–10.

© Коллектив авторов, 2018

Костюченко Сергей Леонидович // kostgeo@mail.ru  
 Маухин Андрей Викторович // mauhin60@mail.ru  
 Кадури Игорь Николаевич // iefp@mail.ru  
 Недядько Валентина Владимировна // geon\_movz@mail.ru  
 Ракитов Владимир Александрович // rakitov47@mail.ru  
 Чернышев Юрий Геннадьевич // yuchern@mail.ru

УДК 553.981:553.982.2:528.87:528.88 (4)

**Абушкевич С.А. (НИИКАМ — филиал ФГУП «ЦНИИмаш»), Волин К.А. (СПбГУ ИНЗ)**

### **ПЕРСПЕКТИВЫ НЕФТЕГАЗОНОСНОСТИ ВОСТОЧНОЙ ЕВРОПЫ ПО ДАННЫМ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ**

*Использование вегетационных индексов NDVI, NDWI и шестого спектрального канала космического спутника Landsat в сочетании со структурно-тектоническим дешифрированием материалов дистанционного зондирования Земли позволило определить местоположение перспективных для поиска нефтегазоносных (НГ) площадей и участков на территории Белоруссии, Украины и соседних областях. Впервые на данной территории отдешифрированы надвиговые структуры с южным и западным падением сместителей, которые рассматриваются в*

*качестве потенциальных ловушек для углеводородов. **Ключевые слова:** дистанционное зондирование, спектральные аномалии, NDVI, NDWI, космоструктурное дешифрирование, нефтегазоносное месторождение, перспективная площадь, надвиговая зона, зона разломов, складчатость.*

Abushkevich S.A. (Branch of Central Research Institute of Machine Building, NIICAM), Volin K.A. (St. Petersburg State University, Institute of Earth Sciences)

### **PROSPECTIVE AREAS FOR HYDROCARBONS IN THE EAST EUROPEAN PLATFORM BASED ON REMOTE SENSING**

*Using the vegetation indexes of NDVI, NDWI and data of Landsat band 6, combined with structure-tectonic interpretation of Landsat images, has allowed establishing the location of prospective areas for hydrocarbons. The interpretation results contain new structure-tectonic data of the areas inside Belarus, Ukraine, and adjacent areas. The thrust faults with the south and west dips of thrust fault planes and fan-shaped folds as potential hydrocarbon structural traps were firstly determined by space images in this areas. **Keywords:** remote sensing, satellite images interpretation, spectral anomalies, NDVI, NDWI, interpretive features, hydrocarbons, thrusts, fault zones.*

Давно сложилось мнение, что Восточно-Европейская платформа [5] в тектоническом плане является стабильной областью. При дешифрировании космических снимков выясняется, что дело обстоит не так просто. В настоящее время космические снимки дают возможность просмотреть и отдешифрировать большие территории примерно в одно время съемки и в одних каналах. На космоснимках Восточной и, частично, Центральной Европы видны не только крупные зоны крутопадающих разломов, но и протяженные надвиговые структуры с характерным чешуйчатым фоторисунком, а также крупные кольцевые структуры и структурные линии, отражающие складчатость в осадочных образованиях чехла (рис. 1).

Обширная территория, выбранная для изучения, является освоенной техногенно, что осложняет дешифрирование. Сельскохозяйственные угодья, а также закрытые четвертичными отложениями площади не дают возможности применить снимки высокого разрешения на большей части территории. В то же время дешифрирование снимков низкого пространственного разрешения способствует увеличению глубинности изучения разреза, дает возможность отдешифрировать крупные складчатые и тектонические структуры. Дешифрирование на данной территории в основном проводилось в масштабе 1:500 000 — 1:5 000 000, а на детальных участках — в масштабе 1:100 000 — 1:200 000. Изучались космические снимки спутника Landsat ETM+ за разные временные периоды. В итоге было использовано более 155 снимков.

Данная работа проделана для выявления структурно-тектонических и спектральных признаков НГ при космоструктурном дешифрировании территории, потенциальной на НГ. Получена локализация перспективных на НГ участков, в пределах которых было бы