

УДК 550.834

ИДЕИ А.К. УРУПОВА В СКОРОСТНОМ АНАЛИЗЕ ДАННЫХ МАЛОГЛУБИННОЙ СЕЙСМОРАЗВЕДКИ

И.А. Санфиров, А.А. Жикин, А.Г. Ярославцев, А.И. Бабкин

Аннотация. Проблемы кинематической интерпретации сейсморазведочных данных неоднократно рассматривались в работах А.К. Урупова. Многие методические подходы, разработанные им актуальны и сегодня при реализации процедур скоростного анализа в инженерной, шахтной и малоглубинной сейсморазведке.

Ключевые слова. Кинематическая интерпретация, скоростной анализ, регулируемый направленный анализ (РНА).

Abstract. NMO problems were describing by A.K. Urupov in his papers often. A lot of his proposals for velocity analysis procedure are using in shallow, very shallow and mining seismic research now.

Key words. NMO interpretation, velocity analysis, semblance.

Получение информации не только о структуре геологического разреза, но и об изменчивости его упругих свойств, как по вертикали, так и по латерали – одна из наиболее привлекательных возможностей сейсморазведки при решении широкого круга геолого-разведочных и горно-технических задач. Совершенствованию данного направления – кинематической интерпретации сейсморазведочной информации посвящено множество публикаций А.К. Урупова, нашедших концентрированное выражение в его монографиях [14, 15, 16]. Адам Константинович много внимания уделял теоретическим основам различных методических решений на всех этапах кинематической интерпретации: определение эффективных скоростей, регуляризация, построение скоростной модели среды, оценка достоверности. Полученные им результаты достаточно широко применяются и в настоящее время при реализации процедур скоростного анализа в инженерной [12], шахтной [6] и в малоглубинной [17] сейсморазведке.

На первом этапе кинематической интерпретации данных малоглубинной сейсморазведки обычно используется регулируемый направленный анализ (РНА) на основе коэффициента подобия. Неоднородное тонкослоистое строение разреза в интервале исследований малоглубинной сейсморазведки [8] обуславливает полный спектр искажений оценок регулируемого направленного анализа, детально представленных в работах Урупова А.К. [15] и его последователей [3]. В этих условиях применяется идеология параметрических диаграмм, разработанная Уруповым А.К. [14], предусматривающая «тотальный» анализ осей синфазности суммарного временного разреза (рис. 1, а; 2, а).

В рамках данной идеологии значения эффективных скоростей определяются во всем интервале полезной записи с равномерным шагом, сопоставимым с шагом дискретизации, а по линии профиля с перекрытием не менее половины базы анализа, размер которой определяется длиной расстановки. Поскольку приемная база при выполнении мало-

глубинных и шахтных сейсморазведочных исследований сопоставима с интервалом исследований, то возможно допущение о равенстве эффективных и предельных эффективных скоростей [3]. Следовательно, результаты скоростного анализа можно использовать непосредственно для формирования сейсмогеологической модели.

Для расчета спектров скоростей, как показывает практика [9, 10] с учетом результатов проведенных исследований [1, 3, 4, 14], в малоглубинной сейсморазведке наиболее оптимальны следующие значения используемых параметров:

- число сейсмограмм ОГТ в базе суммирования выбирается исходя из величины базы, определяемой как, половина максимального удаления ПП-ПВ;
- окно расчета спектров – 2-3 периода регистрируемых сейсмических колебаний;
- шаг расчета спектров по оси времен – 2-4 дискреты;
- шаг расчета спектров по профилю – 5 точек ОГТ.

На выходе процедуры РНА интерпретатор получает массив значений предельных эффективных скоростей. Основная проблема, возникающая при реализации такой технологии скоростного анализа, это наличие, при общем положительном тренде, локальных участков на шкале времен с отрицательным градиентом $V_{эф}$. Вероятная причина подобных искажений – негиперболичность годографов. Она, в свою очередь, определяется криволинейностью отражающих границ, латеральной изменчивостью физических свойств пластов, заключенных между ними, и наложением различного рода волн-помех. Влияние перечисленных факторов усиливается с глубиной. Очевидно, что для интервалов разреза, содержащих отрицательные градиенты скоростей, невозможно определение интервальных скоростных характеристик по формуле Урупова-Дикса [15]. К полученным данным применяются операции осреднения и сглаживания. Сглаживание проводится в два этапа [11].

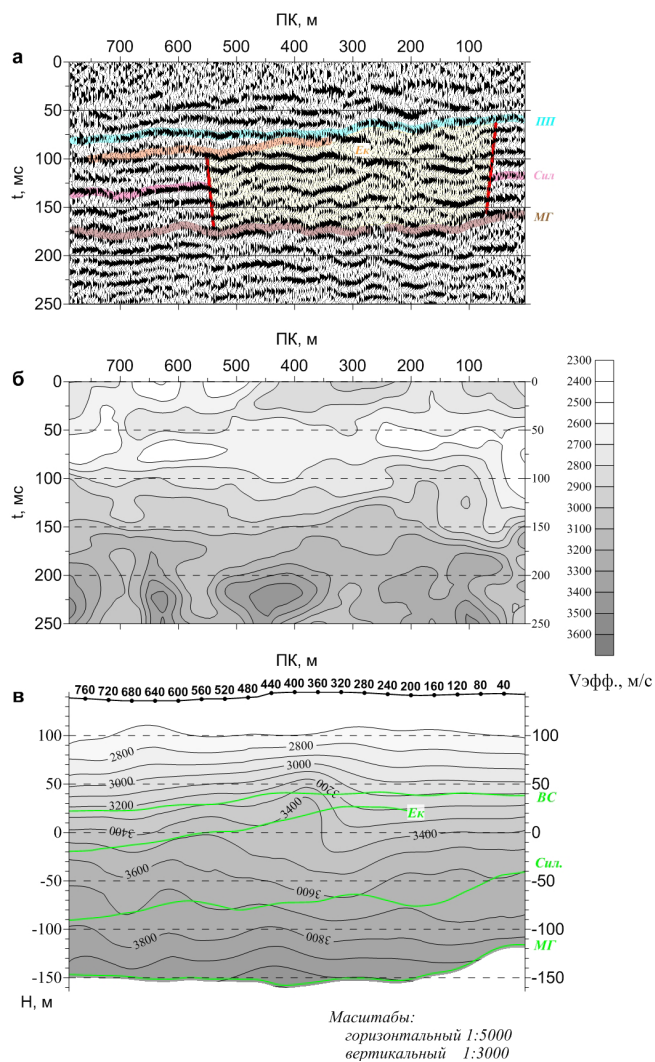


Рис. 1.

Результаты цифровой обработки и интерпретации данных мало-глубинной сейсморазведки МОГТ: а – временной разрез ОГТ; б – скоростная характеристика временного разреза ОГТ; в – сейсмогеологический разрез (ОГ ПП – переходная пачка; Е_к – кровля карналлитового пласта Е; Сил – сильвинитовая зона; МГ – маркирующая глина)

Первый этап заключается в двумерном сглаживании в скользящем окне 5х5, то есть пять точек по шкале времен и пять точек по профилю (при указанных параметрах анализа). За счет этого исключаются случайные искажения, но сохраняются локальные аномалии, в том числе и с отрицательным градиентом.

На втором этапе выполняется «накопительное», или интегральное [2] осреднение для нейтрализации аномалий с отрицательным градиентом с последующим восстановлением исходного тренда.

Накопительное осреднение описывается формулой

$$\tilde{V}_{\text{эф}} = \frac{\sum_{j=1}^I V_{\text{эф}j}}{I},$$

где $V_{\text{эф}j}$ – значение эффективной скорости для времени t , $I = \frac{t}{dt}$, t – текущее время.

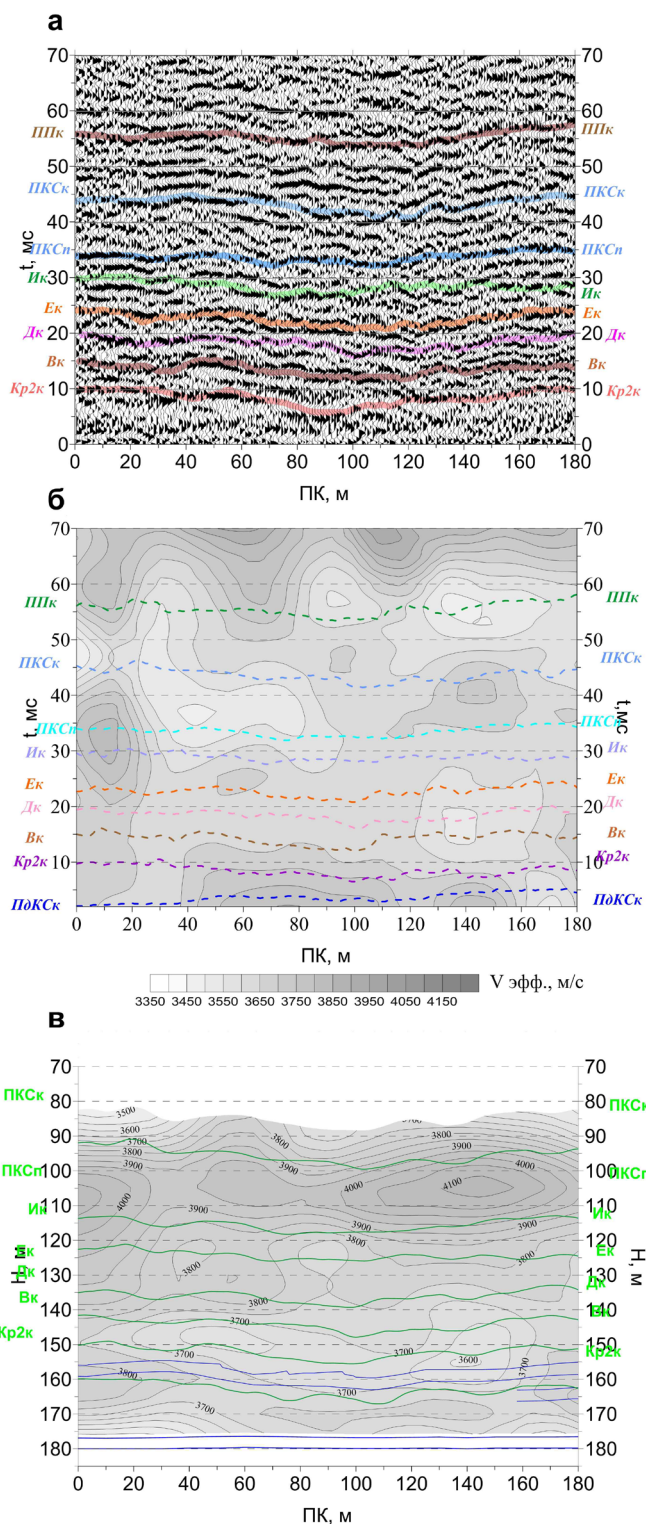


Рис. 2.

Результаты цифровой обработки и интерпретации данных шахтной сейсморазведки МОГТ:

а – временной разрез ОГТ;

б – скоростная характеристика временного разреза ОГТ;

в – сводный сейсмогеологический разрез

(ОГ ППК – кровля переходной пачки; ПКСк, ПКСп – кровля, подошва покровной каменной соли; Ик – кровля карналлитового пласта И; Ек – кровля карналлитового пласта Е; Дк – кровля карналлитового пласта Д; Вк – кровля карналлитового пласта В; Кр2к – кровля сильвинитового пласта Кр2; ПдКСк – кровля подстилающей каменной соли)

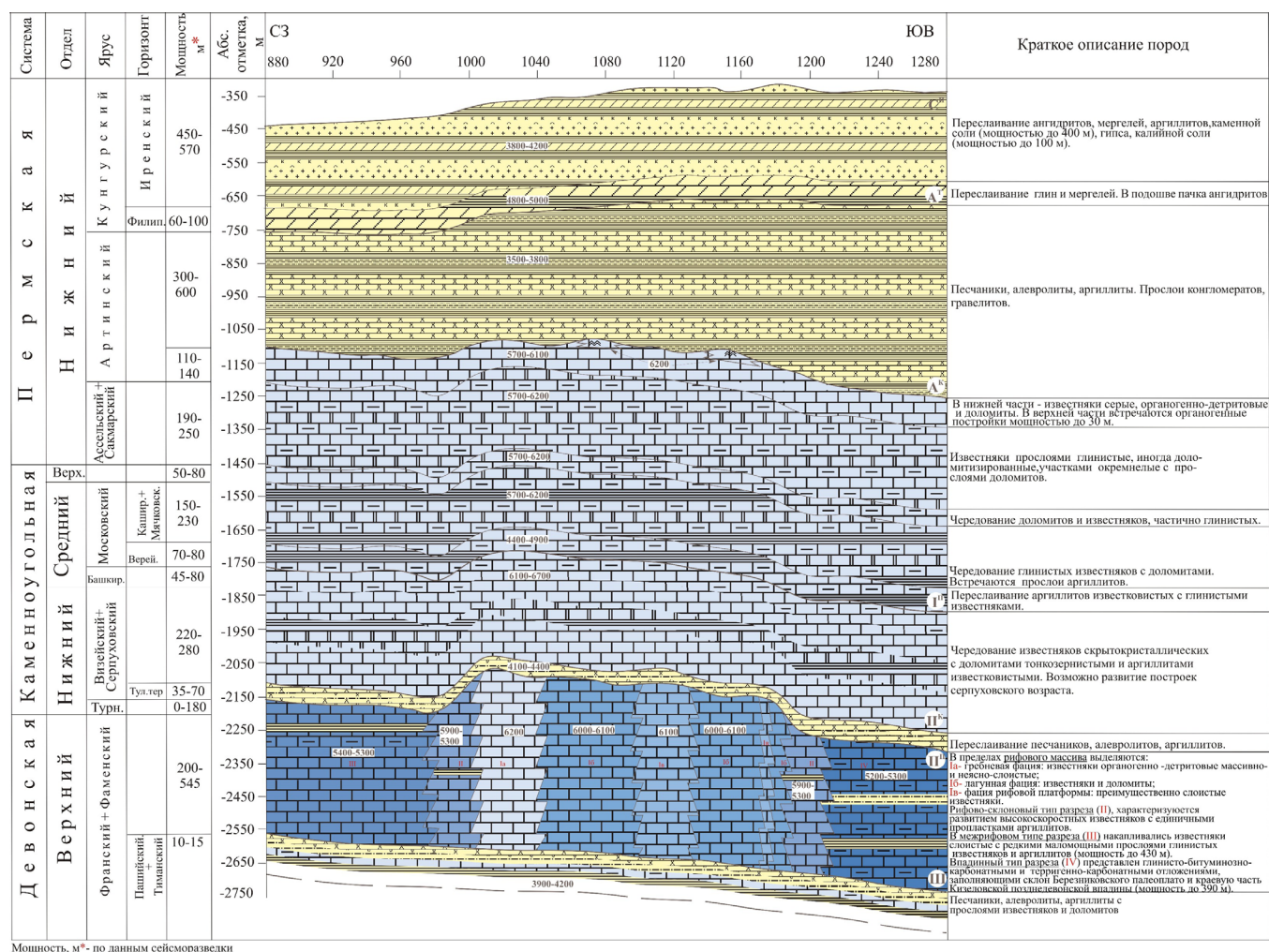


Рис. 3. Априорная модель детального геологического строения толщи [5]

Такая процедура позволяет сохранить возможность вычисления интервальных характеристик, не исключая при этом локальных особенностей. «Накопительное» осреднение подразумевает расширение текущей базы на каждом шаге определения на величину сдвига (dt), обычно соответствующей шагу дискретизации.

В результате на графиках эффективных скоростей удаляются участки с отрицательным градиентом, но при этом занижаются значения $V_{эф}$ на больших временах. Для восстановления тренда выполняется корректировка сглаженных значений. Она заключается в аппроксимации кривых $V_{эф}(t)$ и $V_{эф}^-(t)$ по методу наименьших квадратов, нахождении разницы между значениями аппроксимирующих функций, и внесении найденных поправок в функцию $V_{эф}^-(t)$. Полученная информация представляет собой квазинепрерывное распределение скорректированных эффективных скоростей в двумерной плоскости временного разреза (рис. 1, б; 2, б).

Из массива сглаженных скоростей в процессе интерпретации выбираются значения согласно прослеженным временам отражающих горизонтов (ОГ). Полученные кривые сглаживаются на базе не менее половины длины расстановки и используются далее для расчета глубин отражающих границ [11]. Раз-

мер оператора сглаживания определяется с учетом результатов работы А.К. Урупова [16], где обоснована степень искажений результатов скоростного анализа от соотношения размеров локальных скоростных неоднородностей верхней части разреза и длины базы приема в интерференционной системе регистрации ОГТ.

Ввиду отсутствия достаточного количества скважин с акустическими и сейсмокаротажными исследованиями, как при наземных, так и шахтных наблюдениях, усложняется задача привязки отражающих горизонтов и определения скоростей при построении интерпретационной модели. Для её решения на основе сейсмических исследований, геологической информации о разрезе и материалов близлежащих скважин строится априорная модель детального строения толщи на изучаемом участке (рис. 3).

Уточнение модели осуществляется путём минимизации расхождения априорной и сейсмической информации. В качестве контролируемых параметров используются определяемые по априорной модели и сейсмическим данным эффективные и интервальные скорости упругих волн, глубинное положение искомым предполагаемых отражающих границ (рис. 1, в), временная мощность между ними. При отсутствии сведений о прямых измерениях скоро-

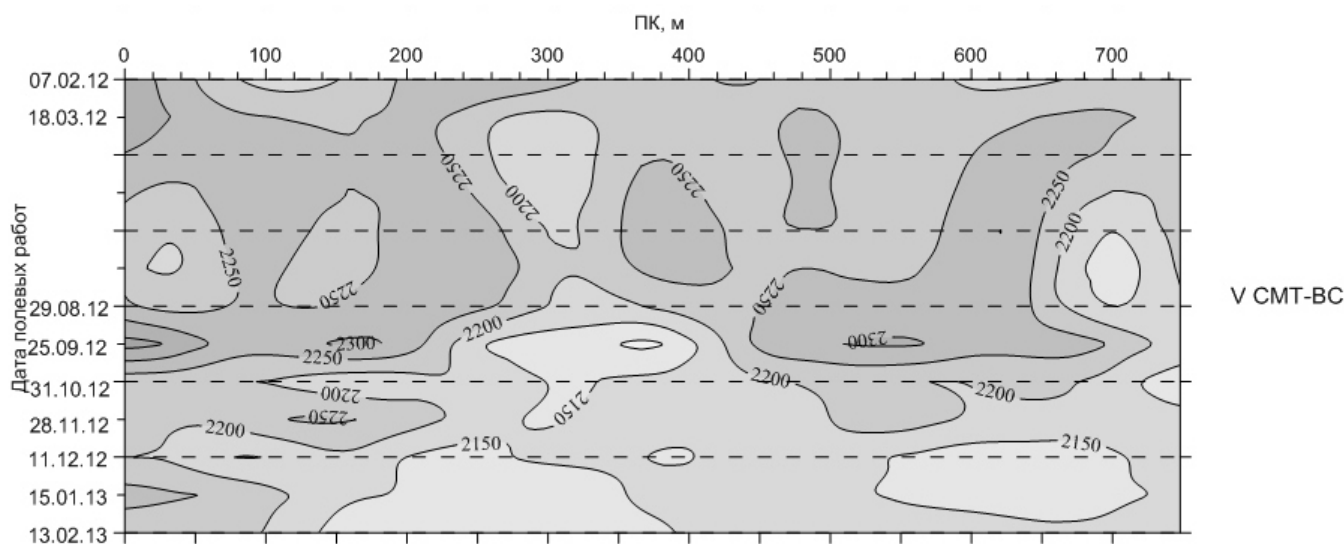


Рис. 4.
Временно-скоростная диаграмма

стей расчёт ведётся в диапазоне вероятных значений интервальной скорости, соответствующем степени неопределённости данных о свойствах пород [7].

При интерпретации данных шахтной сейсморазведки определение интервальных скоростей по представленной технологии затруднено. В горных выработках регистрируются волны, распространяющиеся в верхнее полупространство, что предполагает уменьшение скоростей распространения упругих волн с удалением от поверхности наблюдений. Это формально должно приводить к введению инверсного скоростного закона в годографы отраженных волн, что подразумевает отрицательный градиент скорости, и, следовательно, невозможность определения интервальных скоростей [15] и построения сейсмогеологического разреза (рис. 2, в). В связи с этим, учитывая временной интервал регистрации (≈ 50 -60 мс), применяется скоростной закон с постоянной средней скоростью для всего интервала исследования.

Результаты скоростного анализа малоглубинных и шахтных сейсморазведочных исследований, помимо традиционных структурных задач и пространственной локализации физико-геологических неоднородностей, широко применяются в различных мониторинговых системах по обеспечению безопасной разработки месторождений полезных ископаемых [6]. Для этого анализируются пространственно-временная изменчивость интервальных скоростей по временно-скоростным диаграммам (рис. 4), которые представляют собой изменение интервальной скорости от времени получения данных, что позволяет выявлять области понижения скоростей, требующие особого внимания при ведении горных работ.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ. Представленные методические положения опробованы на большом количестве сейсморазведочных данных при проведении геофизических исследований для обеспечения безопасных условий разработки крупнейшего в Европе Верхнекамского месторождения калийных и магниевых солей.

Основные теоретические и методические основы скоростного анализа, одного из важнейших составляющих информационного обеспечения интерпретации данных малоглубинной сейсморазведки, базируются на идеях А.К. Урупова, связанных с применением «тотального» кинематического изучения всего интервала регистрации, построением скоростной модели среды с учетом разного рода технологических «артефактов» в значениях скоростей.

Литература

1. Авербух А.Г., 1982, Изучение состава и свойств горных пород при сейсморазведке: М., Недра.
2. Бат М., 1980, Спектральный анализ в геофизике: М., Недра.
3. Маловичко А.А., 1990, Кинематическая интерпретация данных цифровой сейсморазведки в условиях вертикально-неоднородных сред: Свердловск, УрО АН СССР.
4. Мешбей В.И., 1985, Методика многократных перекрытий в сейсморазведке: М., Недра.
5. Никифорова А.И., 2013, Прогноз строения и свойств калийной залежи на основе сеймостратиграфического анализа разреза Верхнекамского месторождения: Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук: Пермь, ГИ УрО РАН.
6. Новоселицкий В.М., Санфиоров И.А., Щербинина Г.П., Юзвак В.П., 1995, Геофизическое обеспечение разработки Верхнекамского месторождения калийных солей: Горный журнал. Уральское горное обозрение, 6, 59.
7. Пригара А.М., Прийма Г.Ю., 2000, Практическое опробование интерактивной системы количественной интерпретации данных малоглубинной сейсморазведки: Проблемы формирования и комплексного освоения месторождений солей: Соликамск, ГИ УрО РАН, 191-193.
8. Санфиоров И.А., 1996, Рудничные задачи сейсморазведки МОГТ: Екатеринбург, УрО РАН.
9. Санфиоров И.А., Бабкин А.И., 2006, Сейсморазведка МОВ в горных выработках соляных рудников: Геофизика, 3, 23-26.
10. Санфиоров И.А., Бабкин А.И., Ярославцев А.Г., Прийма Г.Ю., Фаткин К.Б., 2011, Сейсморазведочные исследования условий разработки калийной залежи: Геофизика, 5, 53-59.
10. Санфиоров И. А., Пригара А.М., 1998, «Дифференциальный» скоростной анализ: Комплексное освоение недр Западного Урала: Пермь, 108-110.

11. Санфи́ров И.А., Я́рославец А.Г., 2004, Опыт применения сейсморазведки ОГТ для решения инженерно-геологических задач: Геофизика, **3**, 27-30.

12. Санфи́ров И.А., Я́рославец А.Г., Байбакова Т.В., Жи́кин А.А., Ни́кифорова А.И., 2012, Особенности цифровой обработки в инженерной сейсморазведке МОГТ: Геофизика, **5**, 35-41.

13. Уру́пов А.К., 1984, Сейсмические модели и эффективные параметры геологических сред: М., Московский институт нефтехимической и газовой промышленности им. И. М. Губкина.

14. Уру́пов А.К., 1966, Изучение скоростей в сейсморазведке: М., Недра.

15. Уру́пов А.К., Ле́вин А.Н., 1985, Определение и интерпретация скоростей в методе отраженных волн: М., Недра.

16. Baryakh A., Sanfirov I., Yroslavcev A., Lobanov S., 2003, Prediction and checking of the underworking area state in the city: Geotechnika w budownictwie I gornictwie, OWPW, Wroclaw, **4**, 18-22.

РЕЦЕНЗЕНТ – доктор физико-математических наук М.Л. Владов

ОБ АВТОРАХ



САНФИРОВ
Игорь Александрович

Заместитель директора по научной работе Горного института УрО РАН, профессор кафедры геофизики Пермского государственного национального исследовательского университета, доктор технических наук, профессор. В 1977 г. окончил геологический факультет Пермского государственного университета. Область научных интересов – теоретические и методические основы сейсмических и акустических исследований строения и состояния породного массива. Прикладная направленность их в основном связана с обеспечением безопасной эксплуатации крупнейшего в Европе Верхнекамского месторождения калийных солей. Автор и соавтор более 100 научных работ и одной монографии.



БАБКИН
Андрей Иванович

Заведующий сектором экспериментальной сейсмоакустики Горного института УрО РАН, доцент кафедры геофизики Пермского государственного национального исследовательского университета, кандидат технических наук. В 1992 г. окончил геологический факультет Пермского государственного университета. Основные направления научной деятельности – разработка оптимального комплекса разночастотных, разнонаправленных и многоволновых сейсмоакустических наблюдений во внутренних точках среды для решения горно-геологических и горнотехнических задач; проектирование высокоинформативных технологий сбора данных на основе интерференционных систем регистрации. Автор и соавтор более 60 научных работ.



ЯРОСЛАВЦЕВ
Александр Геннадьевич

Заведующий сектором моделирования сейсмоакустических процессов Горного института УрО РАН, кандидат технических наук. В 1998 г. окончил геологический факультет Пермского государственного университета. Основные направления научной деятельности – развитие технологий инженерной сейсморазведки высокого разрешения для решения инженерно-геологических задач; разработка методов сейсморазведочной дефектоскопии конструктивных элементов зданий и сооружений. Автор и соавтор более 50 научных работ.



ЖИКИН
Александр Андреевич

Аспирант Горного института УрО РАН. В 2010 г. окончил магистратуру геологического факультета Пермского государственного университета. Научные интересы – цифровая обработка данных сейсморазведки высокого разрешения. Автор и соавтор 5 научных работ.