ПРОГНОЗНАЯ КАРТА ГЕОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ РАЗРЕЗОВ КОНТИНЕНТОВ ЗЕМНОГО ШАРА

Ю.Б. Башкуев, Л.Х. Ангархаева, Д.Г. Буянова, В.Р. Адвокатов

Институт физического материаловедения СО РАН, Улан-Удэ, Российская Федерация

Освещены результаты геоэлектрического картирования Восточного и Западного полушарий Земли. Рассмотрена методология геоэлектрического картирования. Созданы карты геоэлектрических разрезов Евразии, Африки, Австралии, Северной и Южной Америки, Антарктиды и Северного Ледовитого океана. Принята шкала ρ_j , h_j с тремя градациями на декаду. Приведены фрагменты карт ГЭР.

Ключевые слова: электромагнитные волны, распространение СДВ-, ДВ-, СВ-радиоволн, горные породы, электрические свойства, геоэлектрический разрез, карта, поверхностный импеданс, земная кора.

PREDICTIVE MAP OF GEOELECTRIC SECTIONS OF CONTINENTS OF THE WORLD

Yu.B. Bashkuev, L.Kh. Angarkhaeva, D.G. Buyanova, V.R. Advokatov

Institute of Physical Materials Science of the SB RAS, Ulan-Ude, Russian Federation

The report contains the results of geoelectric mapping of the Eastern and Western Hemispheres of the Earth. The methodology of geoelectric mapping is considered. Maps of geoelectric sections (GES) of Eurasia, Africa, Australia, North and South America, Antarctica and the Arctic Ocean were created. The scale ρ_j , h_j was adopted with three gradations per decade. Fragments of GES maps are shown.

Keywords: electromagnetic waves, propagation of VLF-, LF-, MF-radio waves, rocks, electrical properties, vertical resistivity profile, map, surface impedance, earth's crust.

Введение

Детальное знание электрических свойств, строения и пространственного расположения различных комплексов горных пород земной коры необходимо при решении задач излучения и распространения электромагнитных волн в волноводе «Земля–ионосфера». Рассматривается нижняя стенка волновода (или верхняя часть земной коры) с границами раздела сложной формы. Первичной основой образно-знаковых моделей электрического состояния верхней части земной коры могут служить разномасштабные карты электрических свойств (проводимости или геоэлектрических разрезов) стран и континентов, составленные в соответствии с определенными классификационными признаками. Так, на практике часто используется Мировой атлас проводимости почвы, подготовленный и изданный Международным союзом электросвязи [1]. Также широко известны карты эффективной проводимости континентов мира Моргана-Максвелла, США, Канады, Норвегии, Японии и других стран [2–6]. Эти карты составлены по результатам измерений напряженности поля ДВ-СВ радиовещательных станций. Они справедливы для конкретных частот отдельных радиостанций и не могут быть использованы в широком диапазоне частот. На этих картах систематизированы данные об электрических свойствах горных пород в рамках однородной модели среды.

Неоднородная в электрическом отношении геологическая среда искажает амплитудно-фазовую структуру электромагнитного поля. Поскольку на структуру и уровень электромагнитного поля оказывает существенное влияние слоистость верхней части земной коры, то возникла необходимость учета этого фактора. Существенное повышение точности расчетов электромагнитного поля в широком диапазоне волн (от СДВ и до СВ-КВ)

стало возможным с использованием прогнозных карт геоэлектрических разрезов (ГЭР), учитывающих слоистую структуру подстилающей среды. На них отражено площадное распределение различных типов ГЭР с указанием удельного электрического сопротивления ρ_j (величина, обратная удельной проводимости $\sigma_j = 1/\rho_j$) и толщины h_j каждого слоя ГЭР. Относительная диэлектрическая проницаемость слоев ε_j принята равной 10. Эти параметры позволяют рассчитать необходимые для прогнозирования условий распространения электромагнитных волн значения поверхностного импеданса δ , функции ослабления W и уровня поля E в СДВ-ДВ-СВ диапазонах радиоволн.

Цель работы и решаемые задачи

Создание прогнозных карт геоэлектрических разрезов (ГЭР) континентов Восточного и Западного полушарий Земли.

Разработка принципов комплексной интерпретации данных различных методов геоэлектрики и методики геоэлектрического картирования; исследование электрических свойств природных слоистых сред комплексными радио- и геофизическими методами; обобщение фондовых геоэлектрических материалов, построение общих моделей геоэлектрического строения основных областей континентов на глубину скин-слоя; выбор шкалы градаций (ρ_j , h_j); создание карт геоэлектрических разрезов континентов Земного шара.

Методика геоэлектрического картирования и обработки информации об электрических свойствах горных пород

Под геоэлектрической моделью подстилающей среды обычно понимается описание последней с помощью семейства параметров, которые выражаются удобными для расчетов электромагнитного поля функциями координат. Простейшей геоэлектрической моделью подстилающей среды является модель, в которой различные ее области характеризуются своей, не зависящей от глубины, эффективной проводимостью σ (эффективным сопротивлением ρ). Более близкой к действительности является широко используемая в геоэлектрике модель с горизонтально-слоистой структурой отдельных областей [7–11]. Такая модель подстилающей среды в локальной точке описывает геоэлектрический разрез (ГЭР), дифференцированный по удельному электрическому сопротивлению ρ_j , толщине h_j и диэлектрической проницаемости ε_j каждого слоя [10; 12]. Она реализуется в виде карты параметров ГЭР. По ней можно строить различные, в зависимости от назначения, частоты и критерия точности, геоэлектрические модели подстилающей среды. Влияние подстилающей среды на электромагнитное поле обычно учитывается комплексной величиной приведенного поверхностного импеданса δ , определяемого электрическими параметрами и структурой горных пород.

Под составлением карты параметров ГЭР нами понимается определение площадного распределения различных типов ГЭР, оценка сопротивления ρ_j и толщины h_j отдельных слоев разреза по всей площади карты на основе всего объема собранных по региону фондовых (архивных) материалов или результатов измерений. Задача сводится к определению типа ГЭР (например, $\rho_1 > \rho_2$ или $\rho_1 < \rho_2$) однородной области и ее границ и статистической оценке параметров ρ_j и h_j . Карта ГЭР представляет генерализованное отображение реальной геоэлектрической ситуации, точность которого определяется детальностью наблюдений и их генерализацией в соответствии с масштабом построений (в картографии генерализация – это отбор главного, существенного и его целенаправленное обобщение соответственно назначению, тематике и масштабу карты).

Методология геоэлектрического картирования основывается на следующих положениях [12–14]:

1) существует закономерная связь между сопротивлением (проводимостью) и литологическими, гидрогеологическими, мерзлотными параметрами горной породы, ее строением и особенностями пространственной изменчивости ГЭР;

2) сопротивление конкретного типа горной породы является случайной величиной, распределенной по логнормальному закону;

3) контуры областей с одинаковыми электрическими свойствами совпадают с геологическими границами, толща горных пород выдержана;

4) прогнозирование проводится по геологическим картам коренных горных пород и четвертичных отложений, фондовым материалам ВЭЗ и данным бурения;

5) ГЭР в пределах скин-слоя для СДВ диапазона ($f = 10$ кГц) в общем случае представляется двух-, четырехслойным;

6) в районах относительно простого геологического строения с достаточной для практики точностью прогнозирование параметров ГЭР необходимо проводить на основе изучения ключевых участков (территорий-аналогов) с последующим прогнозным распространением характеристик на родственные в геологическом отношении территории.

Основным источником информации о параметрах ρ_j и h_j верхних горизонтов земной коры являлись материалы вертикальных электрических зондирований (ВЭЗ). Основанием для широкого использования метода ВЭЗ при геоэлектрическом картировании явились: а) хорошая сходимость значений расчетных по данным ВЭЗ и измеренных по данным радиоимпедансного зондирования (РИЗ) частотных зависимостей модуля $|\delta|$ и фазы φ_δ поверхностного импеданса; б) отсутствие частотной дисперсии проводимости талых горных пород в диапазоне частот до 5 МГц [10; 12; 15]. Сходимость результатов ВЭЗ и РИЗ подтверждает правомочность комплексирования этих методов для изучения электрических параметров слоистой подстилающей среды в СДВ-, ДВ-, СВ-диапазонах электромагнитных волн. Это дает возможность использовать многочисленные фондовые материалы ВЭЗ, что значительно ускоряет и удешевляет прогнозирование ГЭР больших регионов [12; 15].

Построение прогнозных карт ГЭР выполнялось в условиях ограниченного и весьма неравномерно распределенного по площади количества исходных данных, не позволяющих производить формальную интерполяцию и экстраполяцию с необходимой детальностью и точностью. В этих условиях использовался метод аналогий, широко распространенный в науках о Земле. Прогнозирование величин ρ_j и h_j основывалось на изучении геоэлектрических особенностей конкретного района, на детальном рассмотрении ключевой и прогнозной областей. Работа выполнялась в следующем порядке. На некотором ключевом участке определялись наиболее вероятные параметры ρ_j и h_j верхних слоев земной коры. Представление о единстве ключевой и прогнозной областей по геолого-геофизическим характеристикам позволило нам распространить полученные на ключевом участке значения ρ_j и h_j на всю область прогноза со сходными свойствами.

Вероятностная модель ГЭР наиболее полно соответствует природе изучаемого объекта – слоистой подстилающей среды [7–12; 15; 30]. При статистической обработке фондовых данных об электрических свойствах горных пород принята гипотеза о логарифмически нормальном законе распределения удельного электрического сопротивления ρ_j и толщины слоя h_j горных пород. Эта гипотеза проверена нами по величине показателей асимметрии $A_{\lg \rho_j}$ и эксцесса $E_{\lg \rho_j}$ на примере наиболее распространенных и типичных литологических комплексов Азии (табл.).

Знание законов распределения параметров ГЭР ρ_j , h_j позволило выбрать объективные критерии статистической обработки фондовых данных ВЭЗ. В частности, по оценкам математического ожидания параметров ρ_j и h_j слоев ГЭР вычислялись наиболее вероятные значения поверхностного импеданса δ слоистой среды. Оценка ρ_j и h_j ключевых участков (отдельных типов горных пород) проводилась по ограниченной выборке на основе статистической обработки исходного массива ρ_j и h_j . Построение гистограмм ρ_j и h_j позволило определить законы распределения ρ_j и h_j и в ряде случаев исключить грубые ошибки в оценке ρ_j и h_j . На основе большого массива обработанных данных ВЭЗ и РИЗ можно признать справедливым использование логарифмических шкал при составлении прогнозных карт ГЭР.

**Результаты проверки гипотезы
о логнормальном распределении значений ρ_j горных пород**

Литологические комплексы	$\overline{\lg \rho_j}$	$A_{\lg \rho_j}^*$	$E_{\lg \rho_j}^*$	$\frac{A_{\lg \rho_j}}{\sqrt{6/N^*}}$	$\frac{E_{\lg \rho_j}}{2\sqrt{6/N^*}}$
Четвертичные отложения	2,32	0,19	-1,04	0,55	-1,44
Угленосные отложения	1,7	0,67	1,14	1,85	1,58
Вулканогенные образования	2,51	0,19	-1,17	0,52	-1,63
Мезозойские граниты	2,51	0,32	-0,62	0,88	-0,86
Палеозойские граниты	3,0	0,58	-0,13	1,61	-0,19

* $A_{\lg \rho_j}$, $E_{\lg \rho_j}$ – асимметрия и эксцесс выборки данных ρ_j ; N – объем выборки.

Основные результаты и их обсуждение

Объект исследования – верхняя часть земной коры Восточного и Западного полушарий – характеризуется значительной пространственной неоднородностью электрических свойств горных пород. Обширность территорий и чрезвычайно широкий диапазон геоэлектрических условий потребовали выполнения комплексных исследований, включающих научный анализ и обобщение литературных и фондовых материалов, аналитические и численные расчеты, полевые эксперименты. На рис. 1–4 приведены фрагменты прогнозных карт ГЭР Евразии, Африки, Австралии, Южной и Северной Америки, Антарктиды, Арктики. На картах отражено площадное распределение различных типов ГЭР с указанием удельного электрического сопротивления ρ_j и толщины h_j каждого горизонта. Шифры на картах ГЭР определяют сопротивления и толщины слоев в логарифмически-равномерной шкале. Логарифм шага дискретизации ρ_j и h_j равен 0,333, шкалы ρ_j , h_j имеют три градации на декаду. Диэлектрическая проницаемость слоев принята равной $\epsilon_j=10$. По номеру ступени N по формулам $\rho_j = 10^{0,333(N-0,5)}$ Ом·м ($N = 0 \div 15$), $h_j = 10^{0,333(N-3,5)}$ м ($N = 1 \div 15$) могут быть рассчитаны медианные значения ρ_j и h_j :

Номер ступени	Медианное значение ρ_j , Ом·м	Медианное значение h_j , м
0	0,68	–
1	1,47	0,147
2	3,16	0,316
3	6,8	0,68
...	...	...
10	1470	147
11	3160	316

Рис. 1. Фрагмент прогнозной карты ГЭР Евразии: площадь 53 млн. км², 95 типов ГЭР

Рис. 2. Фрагменты прогнозных карт ГЭР:

а) Африки: площадь 30,3 млн км², 22 типа ГЭР; б) Австралии: 8,8 млн км², 19 типов ГЭР

Рис. 3. Прогнозные карты ГЭР:

а) Северной Америки: 25,25 млн км², 22 типа ГЭР; б) Южной Америки: 17,8 млн км², 16 типов ГЭР

Рис. 4. Фрагменты прогнозных карт:

а) ГЭР Антарктиды: 12,4 млн. км², 5 типов ГЭР; б, в) ГЭР (поверхностного импеданса) морей Северного Ледовитого океана в зимнее время (18–20.02.2018); в) суши российской Арктики

Шифры на карте читаются следующим образом, например, 6.5.5. – первая цифра обозначает номер ступени по шкале сопротивлений для первого слоя ρ_1 , вторая цифра – номер ступени по шкале толщины слоя h_1 , третья и последующие цифры – те же параметры для второго и последующих слоев. К картам составлены пояснительные записки, содержащие: 1) таблицы встречающихся геоэлектрических структур и частотные зависимости поверхностного импеданса в диапазоне 10–1000 кГц; 2) качественную оценку достоверности построенной карты; 3) обзор использованного материала и источники информации об электрических свойствах верхней части земной коры исследуемой территории.

Исходными данными при составлении прогнозных карт ГЭР являлись: геологическая карта континентов Мира масштаба 1:15000000 [16]; геологическая карта СССР масштаба 1:2 500 000 под редакцией Д.В. Наливкина [17]; фондовые и опубликованные материалы геоэлектрических исследований (преимущественно методом ВЭЗ) в Турции, Иране, Пакистане и Афганистане, в пустынях Средней Азии, в горных системах Памир и Кавказ [18–22]. В картах ГЭР нашли отражение экспериментальные материалы Института физического материаловедения СО РАН, полученные при геоэлектрических исследованиях в 1971–2019 гг. на территории востока России и Монголии методами ВЭЗ и РИЗ [10; 12; 15] и при геоэлектрическом картировании континентов и стран Мира [13; 14; 23–29]. При создании карт ГЭР континентов Земли широко использованы фондовые геофизические материалы производственного геологического объединения «Зарубежгеология», Управлений геологии Грузии, Туркменистана, Таджикистана.

Карты ГЭР достаточно полно показывают региональные закономерности пространственного размещения областей с различными типами ГЭР на континентах Земли. По своему масштабу карты обзорные, а по содержанию – специализированные. Карты являются первой попыткой обобщить большой и разнородный фактический материал и показать, что исходные положения и методика их составления правильно отображают взаимосвязь электрических свойств верхней части земной коры с разнообразными геологическими структурами.

На рис. 5 приведены частотные зависимости модуля $|\delta|$ и фазы φ_δ° поверхностного импеданса для наиболее распространенных типов ГЭР Северной и Южной Америки. Приведенный поверхностный импеданс n -слойной среды вычисляется по формуле $\delta^{(n)} = \delta_1 \cdot Q^{(n)}$, удобной для расчетов на ЭВМ [12]. Здесь δ_1 – поверхностный импеданс однородной среды с параметрами первого слоя; $Q^{(n)} = F(f, \rho_j, \varepsilon_j, h_j)$ – корректирующий множитель, учитывающий нижележащие слои земной коры. Анализ $|\delta|$ и φ_δ° показывает значительные пределы их изменений. Так, на частоте 10 кГц значения $|\delta|$ изменяются от 0,004 до 0,058, а фаза импеданса от -38° до -48° ; для частоты 1000 кГц значения $|\delta|$ варьируют от 0,061 до 0,316, а фаза импеданса от -2° до -49° .

Рис. 5. Частотные зависимости модуля $|\delta|$ и фазы φ_δ° поверхностного импеданса для наиболее распространенных типов ГЭР Северной и Южной Америки

Фрагмент прогнозной карты ГЭР Евразии (рис. 1) содержит 14 типов одно-трехслойных ГЭР. По карте Моргана-Максвелла [2] эта территория имеет три градации проводимости (10^{-3} , $3 \cdot 10^{-4}$, 10^{-4} См/м), общий фон территории этого региона составляет $3 \cdot 10^{-4}$ См/м. Анализ данных наших измерений показывает, что значения проводимости на карте Моргана-Максвелла являются, как правило, заниженными в 2–3 и более раз.

Карты ГЭР позволяют определять с учетом рельефа местности, лесного покрова, слоя снега и льда, сезонных вариаций ρ_j и h_j основную характеристику волнового электромагнитного процесса – функцию ослабления поля W в широком диапазоне радио волн. Значения W для модели многокусочной импедансной трассы распространения рассчитываются на основе численного решения интегрального уравнения Хаффорда или Фейнберга. Погрешность прогнозирования уровня электромагнитного поля не превышает при этом $\pm(15 \div 30)\%$ [12; 15].

Заключение

Результаты исследования электрических свойств природных слоистых сред комплексными радио- и геофизическими методами в целом привели к созданию нового поколения карт электрических свойств подстилающей среды, учитывающих слоистую структуру земной толщи и не имеющих аналогов в других странах Мира. Прогнозное геоэлектрическое картирование всех континентов Земного шара завершено [12–14; 23–29]. Начата работа по объединению карт в виде «Атласа прогнозных карт геоэлектрических разрезов стран и континентов Земного шара». Карты ГЭР могут найти применение при расчетах распространения широкополосных электромагнитных излучений в СДВ-ДВ-СВ диапазонах радиоволн. Эти карты, учитывающие слоистую структуру подстилающей среды, позволяют в 1,5–3 раза увеличить точность расчетов электромагнитных полей по сравнению с существующими картами [1–6].

Доклад подготовлен по госбюджетному проекту «Распространение радиоволн в неоднородных импедансных каналах» и частично при финансовой поддержке гранта РФФИ № 18-47-030006 p_a.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Рекомендация МСЭ-R. Серия Р. Распространение радиоволн. Р. 832-3 (02/2012). Мировой атлас проводимости почвы. 49 с.
2. Morgan R., Maxwell E. Omega Navigation System Conductivity Map. Washington: Office of Naval Research, 1965. 105 p.
3. Fine H. An effective ground conductivity map for continental United States // Proc. IRE. 1954. Vol. 42, no. 9. P. 1405–1408.
4. Ireland G.C. A provisional ground conductivity map of Canada // Proc. IRE. 1961. Vol. 49, no. 11. P. 1674–1678.
5. Eliassen K.E. A survey of ground conductivity and dielectric constant in Norway within the frequency range 0.2–10 Mc/s // Geophys. Publ. 1957. Vol. 19, no. 11. P. 5–30.
6. Dosho K., Shimizu T., Nino N. On the characteristics equivalent ground conductivity in Japan // Electr. and Commun. in Japan. 1967. Vol. 50, no. 2. P. 10–18.
7. Вешев А.В. Электропрофилирование на постоянном и переменном токе. Л.: Недра, 1980. 391 с.
8. Мельников В.П. Электрофизические исследования мерзлых толщ. Новосибирск: Наука, Сиб. отд-ние, 1977. 108 с.
9. Цицишвили Д.А. Инженерная геофизика в условиях горной страны. Тбилиси: Мецниереба, 1980. 218 с.
10. Цыдыпов Ч.Ц., Цыденов В.Д., Башкуев Ю.Б. Исследование электрических свойств подстилающей среды. Новосибирск: Наука, 1979. 176 с.

11. Якунов В.С. Электропроводность и геоэлектрический разрез мерзлых толщ. М.: Наука, 1968. 179 с.
12. Башкуев Ю.Б. Электрические свойства природных слоистых сред. Новосибирск: Издательство СО РАН, 1996. 207 с.
13. Башкуев Ю.Б., Адвокатов В.Р., Ангархаева Л.Х. Карты геоэлектрических разрезов Восточного полушария // Физика Земли. 2003. № 9. С. 87–94.
14. Bashkuev Y.B., Advokatov V.R., Angarkhaeva L.K., Dorzhiev V.S., Hayakawa M. Maps of geoelectric sections of Turkey, Iran, Afghanistan, Pakistan, Korea, and Japan // Natural Hazards and Earth System Sciences. 2008. No. 8. P. 861–868.
15. Доржиев В.С., Адвокатов В.Р., Бодиев Б.Б. Геоэлектрические разрезы юга Сибири и Монголии. М.: Наука, 1987. 94 с.
16. Геологическая карта континентов мира. М.: Аэрология, 1973.
17. Геологическая карта СССР масштаба / под ред. Д.В. Наливкина. М., 1965.
18. Homilius J. Geoelectrical investigations in East Afganistan // Geophysics Prospect. 1969. Vol. 17, no 1. P. 468–487.
19. Гаджиев Т.Г., Шахназарян А.А., Хесин Б.Э. Выделение мезокайнозойских структур электроразведкой ВЭЗ в восточных предгорьях Малого Кавказа и Талыша // Азербайджанское нефтяное хозяйство. 1975. № 8. С. 20–24.
20. Джафаров Х.Д., Лиадзе В.В. Типы геоэлектрических разрезов нефтегазоносных областей Азербайджана // Изв. вузов. Нефть и газ. 1977. № 6. С. 12–18.
21. Курские А.К., Белослюдов А.Г., Бондаренко О.М. Геолого-геофизический анализ электрических свойств горных пород (на материалах Казахстана). Алма-Ата: Наука КССР, 1982. 172 с.
22. Одеков О.А., Ларионов Е.И., Нурмамедов Д. Геоэлектрическая характеристика разреза осадочных отложений территории Туркменистана. Ашхабад: Ылым, 1976. 160 с.
23. Bashkuev Yu.B., Advokatov V.R., Angarkhaeva L.Kh. Predictive Map of Geoelectric Sections of North and South America // Universal Journal of Geoscience. 2013. Vol. 1, no. 2. P. 84–89.
24. Башкуев Ю.Б., Доржиев В.С., Адвокатов В.Р., Ивойлов Ю.А. Прогнозная карта геоэлектрических разрезов Северного Китая // XXIV Всероссийская научная конференция «Распространение радиоволн» РРВ-24: Труды конф. Иркутск, 2014. Т. II. С. 211–214.
25. Bashkuev Yu.B., Angarkhaeva L.Kh., Buyanova D.G., Advokatov V.R. The prediction map of geoelectric sections of Australia // Sciences of Europe. 2016. Vol. 1, no. 8 (8). P. 50–52.
26. Bashkuev Yu.B., Angarkhaeva L.Kh., Buyanova D.G., Dembelov M.G. Predictive Map of Geoelectric Sections of North Eurasia and its Application for the Radiowaves Propagation Calculations // Proc. of the 16th International Conference on Mathematical Methods in Electromagnetic Theory (MMET'2016). 2016. P. 326–329.
27. Башкуев Ю.Б., Доржиев В.С., Адвокатов В.Р., Ангархаева Л.Х. Карта геоэлектрических разрезов юга России и Кавказа // Геология и геофизика Юга России. 2018. № 1. С. 5–16.
28. Bashkuev Yu.B., Naguslaeva I.B., Buyanova D.G., Auyrov D.B. Forecast map of the surface impedance of the seas of the Arctic ocean in winter time // Proc. SPIE 10833, 24rd International Symposium on Atmospheric and Ocean Optics: Atmospheric Physics. Vol. 10833. 1083381 (13 December 2018). <https://doi.org/10.1117/12.2504432>.
29. Доржиев В.С., Башкуев Ю.Б., Цыдыпов Ч.Ц., Адвокатов В.Р., Ивойлов Ю.А. Карта геоэлектрических разрезов Монголии // Картографическое и геоинформационное обеспечение управления региональным развитием: Материалы VII научной конференции по тематической картографии. Иркутск, 2002. С. 78–81.
30. Troyan V.N., Hayakawa M. Inverse Geophysical Problems. Tokyo: TERRAPUB, 2002. 289 p.