

УДК 550.831.015.072(571.1)

ГЛУБИННОЕ СТРОЕНИЕ ДАНИЛОВСКОГО ГРАБЕНА ЗАПАДНОЙ СИБИРИ: ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ИНТЕРПРЕТАЦИЯ ПЛОТНОСТНЫХ МОДЕЛЕЙ

© 2013 г. К. С. Иванов, Н. П. Костров, Е. А. Манушко

Представлено академиком В.А. Коротеевым 12.07.2012 г.

Поступило 09.08.2012 г.

DOI: 10.7868/S0869565213240183

Западно-Сибирский нефтегазоносный мегабассейн является главным геолого-экономическим регионом России. Однако нефтегазоносный потенциал месторождений в юрско-меловых отложениях осадочного чехла, залегающих на сравнительно небольших глубинах, в существенной мере уже исчерпан. Поэтому весьма актуальной является задача прогноза и выявления новых зон нефтегазонакопления. Решение этой задачи связано в том числе с изучением фундамента Западной Сибири и ее триасовых грабенов, которое длится более полувека (см. [1–15] и многие другие). Одним из главных результатов исследований было выявление системы триасовых рифтов и грабенов [9, 11, 14], обусловивших как формирование самого Западно-Сибирского нефтегазоносного мегабассейна, так во многом и распределение скоплений нефти [13, 14], которые приурочены также к меж- и внутририфтовым приподнятым блокам фундамента, а в осадочном чехле – преимущественно к валам, мегавалам и сводам [9].

Из сказанного понятна необходимость всестороннего исследования триасовых грабенов Западной Сибири. Подавляющее большинство скважин вскрывают лишь самые верхние части грабенов, что затрудняет изучение их строения и развития. Поэтому на примере Даниловского грабена, расположенного (рис. 1) в западной части Западно-Сибирского мегабассейна (Шаимский нефтегазовый район), нами предпринято компьютерное моделирование его глубинного строения преимущественно на основе поля силы тяжести (в редукции Граафа–Хантера). Район моделирования может являться эталонным для всей Западной Сибири с учетом того, что здесь расположены Даниловское и Северо-Даниловское ме-

сторождения нефти и, соответственно, есть представительные геофизические и буровые данные. Интересно, что несколько скважин, пробуренных здесь среди поля триасовых вулканитов грабена, вскрыли (сразу ниже юрских отложений осадочного чехла) терригенно-сланцевые толщи карбона (рис. 1а), что ранее еще более затрудняло интерпретацию геологического строения Даниловского грабена. Моделирование глубинного строения грабенов при разумных геологических ограничениях позволяет не только проверить гипотезы об их строении и развитии, но и уточнить существующие геологические и структурные карты.

МЕТОДИКА

Трехмерная плотностная модель строилась методом компьютерного подбора при решении прямой задачи гравirazведки, реализованном в программном комплексе 3D-интерпретации потенциальных полей [10]. Идея гравиметрического моделирования заключается в формировании на основе комплекса геолого-геофизических данных плотностной модели изучаемой среды, расчете гравитационного поля, сопоставлении расчетного и наблюдаемого полей и в последующей корректировке модели по результатам этого сопоставления [10]. При построении таких моделей важно ввести ограничения, лежащие за пределами метода моделирования. Такие ограничения дает любая фактология о предмете исследования и, в первую очередь, результаты бурения, а здесь (в квадрате моделирования, рис. 1) доюрское основание вскрыто более чем 100 скважинами. Положение кровли фундамента известно из данных сейсморазведки и по отбивкам в глубоких скважинах. Также учитывали и другие геологические данные о развитии региона и генезисе грабенов.

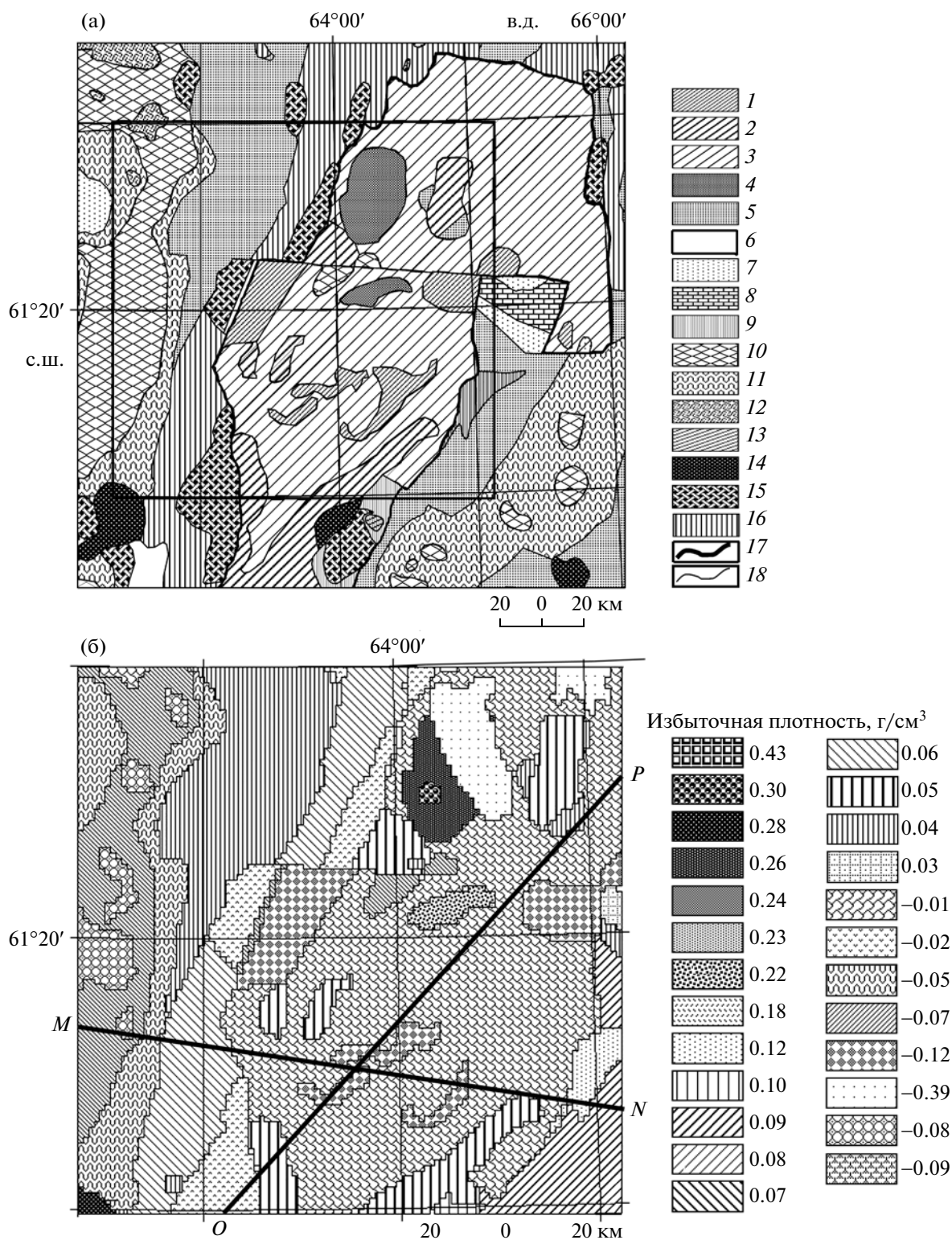


Рис. 1. а – Фрагмент геологической карты доюрского основания западной части Ханты-Мансийского округа (по [4, 5] с изменениями); условные обозначения: 1 – липариты триаса; 2 – эффузивы с преобладанием туфов смешанного состава триаса; 3 – базальты нижнего триаса; 4 – габбро-долериты триаса; 5 – терригенно-сланцевая формация карбона; 6 – терригенно-карбонатные отложения C₁ t-v; 7 – эффузивы D₃-C₁; 8 – вулканогенно-осадочные толщи девона; 9 – известняки D₂₋₃; 10 – порфириты, диабазы, яшмы нижнего палеозоя; 11 – гранитоиды, C₃-P₁; 12 – сиалические гнейсы, сланцы; 13 – кварцевые диориты; 14 – плагиограниты, гранодиориты; 15 – габбро; 16 – серпентинизированные ультрабазиты; 17 – границы Даниловского грабена; 18 – прочие геологические контакты. Прямоугольником показана площадь моделирования (рис. 16). б – горизонтальный срез плотностной модели на глубине 2500 м (слой от –2500 до –2250 м), *OP* и *NM* – положение разрезов, представленных на рис. 2.

МОДЕЛИРОВАНИЕ

При построении модели считали, что аномальное поле создается верхней частью земной коры до глубины 12.5 км. Размеры слоев модели по вертикали заданы так, чтобы, с одной стороны, наилучшим образом отобразить априорную информацию о рельефе кристаллического фундамента и дневной поверхности, а с другой — получить максимально простую модель там, где строение коры нам достоверно неизвестно. Размер элементарной модельной ячейки в плане определен из этих соображений и масштаба карт фундамента и рельефа дневной поверхности (1:200 000). Для моделирования использовали геологическую карту фундамента западной части Западной Сибири [4, 5] (ее фрагмент представлен на рис. 1а). Характерные значения плотностей пород приняты в основном по [1]; средневзвешенная плотность всех свит осадочного чехла считалась равной 2.28 г/см^3 . Все избыточные плотности приведены относительно значения 2.67 г/см^3 .

При моделировании использовалась декартова система координат с вертикальной осью, направленной вверх, осью абсцисс, направленной на восток, и осью ординат, направленной на север. Для представления данных использовалась проекция Гаусса—Крюгера для 11-й зоны. Итоговая модель состоит из 222 301 ячеек, расположенных в 22 слоях. Размер ячеек в горизонтальной плоскости составляет 1500 на 1500 м и одинаков для всех слоев. Один слой содержит 10 100 ячеек. Слои от 300 до 50 м имеют мощность 50 м, что нужно для отображения рельефа дневной поверхности, далее идет слой от 50 до -1000 м, за ним следуют слои от -1000 до -1250 м мощностью 250 м. Далее идут слои от -1250 до -2500 м мощностью 250 м для отображения доюрского основания, а глубже, от -2500 до -12500 — слои имеют мощность 1000 м.

РЕЗУЛЬТАТЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ И ЕГО ТОЧНОСТЬ

Остаточное гравитационное поле позволяет оценить точность подбора. Это поле получено как разность между наблюдаемым и модельным полями. Остаточное поле имеет мозаичную структуру с мелкими деталями и размахом ± 2 мГал, что оставляет менее 10% от размаха наблюдаемой аномалии (за исключением краев планшета, где сказывается влияние масс, лежащих за пределами рассматриваемой площади).

Корректность полученной гравитационной модели была также проверена построением на ее основе магнитной модели Даниловского грабена с приданием всем блокам геолого-плотностной модели значений магнитной восприимчивости, характерных для тех или иных типов пород. В результате бы-

ла создана модель магнитной восприимчивости горных пород грабена, дающая удовлетворительное модельное поле почти всюду над исследуемой площадью. Разность аномального магнитного измеренного и модельного полей практически повсеместно составляет ± 30 нТл, что при размахе наблюдаемого поля от -242 до 1053 нТл оказывается не более 5%.

Итоговая плотностная модель позволяет быстро строить неограниченное число разрезов через грабен в любых направлениях, а также планы (22 послойных среза) на глубинах до 12.5 км. Результаты моделирования проиллюстрированы разрезами на рис. 2. На рис. 2а показано изменение структуры грабена в поперечном (субширотном) направлении, а на рис. 2б — в продольном направлении (с юго-запада на северо-восток). В качестве нулевого приближения сначала предполагалось, что геологические тела имеют субвертикальное падение и распространяются до 12.5 км в глубину. Такая гипотеза не подтвердилась вычислениями: модельное поле оставалось существенно меньше наблюдаемого на всей площади планшета, что свидетельствует о наличии больших масс тяжелых пород под грабеном. Граница между осадочным чехлом и фундаментом является наиболее контрастной плотностной границей, а глубина залегания осадочного чехла изменяется от глубины -1250 м, -1400 м на юго-западе модели и до -2500 м в северо-восточной части планшета. Дно грабена по мере продвижения с юго-запада на северо-восток выполаживается. Грабен, сложенный преимущественно базальтами триаса (недостаток плотности $\Delta\sigma = -0.01 \text{ г/см}^3$), становится к северо-востоку все более маломощным; его толщина меняется от примерно 3.5 км на юго-западе до менее чем 1 км по мере продвижения к северо-востоку и постепенно сходит на нет в северо-восточном углу планшета. Здесь пришлось ввести в модель очень плотные ($\Delta\sigma = 0.28, 0.3, 0.43 \text{ г/см}^3$) тела, поднимающиеся с глубин около 12 км до глубины 3–4 км, где более нижние слои заполнения грабена выходят на предъюрскую поверхность.

Под легкими породами грабена по результатам моделирования находится куполообразное поднятие, сложенное породами повышенной плотности (0.3 г/см^3), представляющее собой, по всей видимости, мантийный диапир (рис. 2).

В соответствии с геологической картой через центральную часть грабена проходит разлом субширотного простирания (рис. 1а). Из результатов моделирования (рис. 2б) следует, что этот разлом является не только правым сдвигом, но и сбросом (более северный блок приподнят примерно на 800 м относительно южного). Еще два подобных сброса видны в юго-западной части разреза (рис. 2).

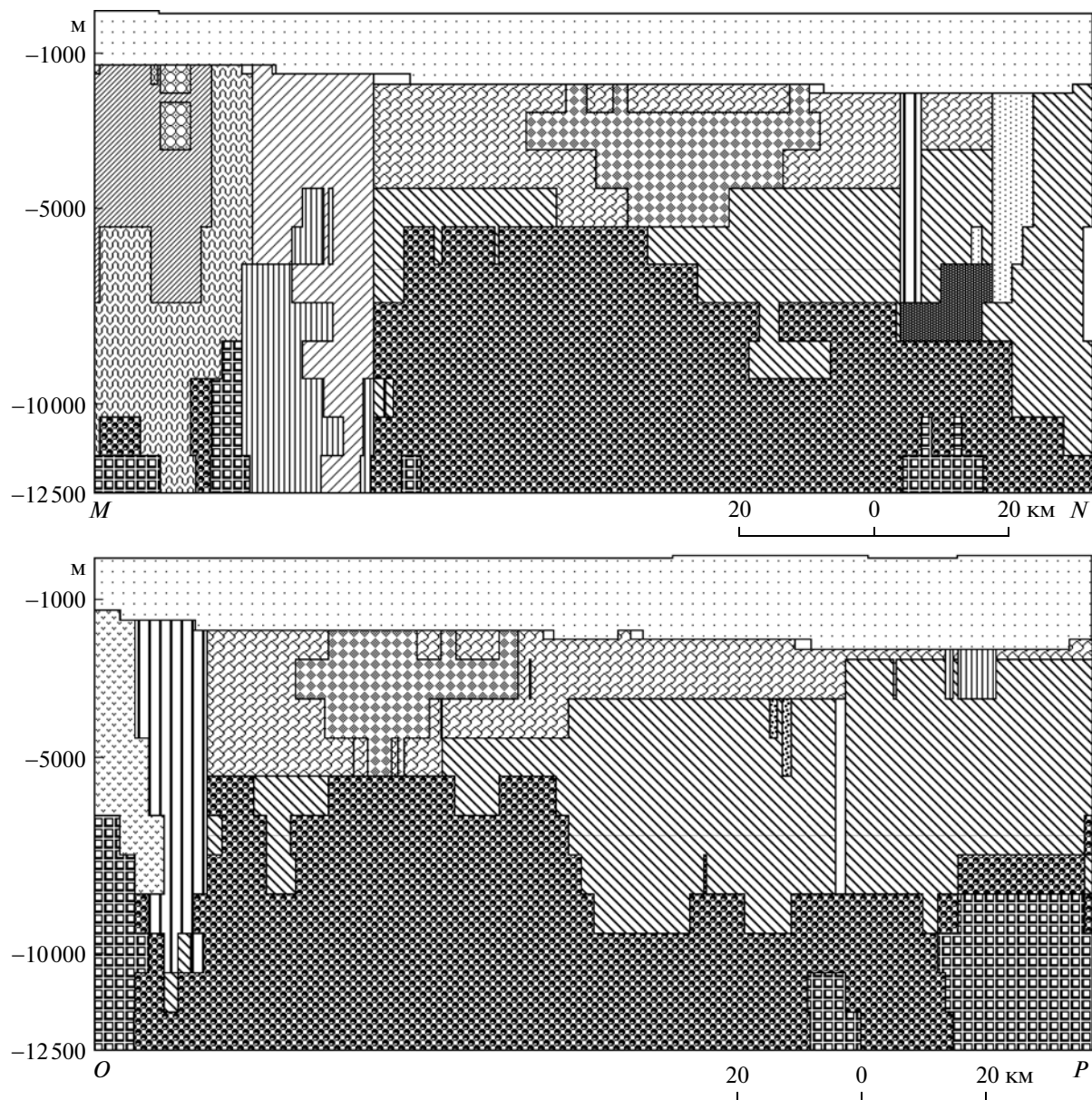


Рис. 2. Плотностные разрезы вдоль сечений *NM* (а) и *OP* (б).

При моделировании западной границы грабена гипотеза о западном или вертикальном падении расположенных вдоль нее серпентинитов ($\Delta\sigma = -0.02 \text{ г/см}^3$) не подтвердилась вычислениями. Предположение о восточном падении контакта существенно упростило подбор (рис. 2б).

Локальные отрицательные аномалии (от -5 до -30 мГал) над массивом гранитоидов, закартированным [4] в крайней западной части площади моделирования, и положительные аномалии (до $+10$ мГал) в пределах обрамляющих их гнейсов оптимально моделируются субвертикально падающими телами (рис. 1б, 2а). Видны разуплотнения гранитоидов (-0.08 г/см^3) в центральной ча-

сти массива, возможно, представляющие собой тела лейкогранитов.

На северо-востоке планшета моделирования большой массив габбро-долеритов, которому соответствует положительная аномалия $+45$ мГал, моделируется блоком пород с избыточной плотностью $0.23\text{--}0.26 \text{ г/см}^3$, идущим вглубь до 4 км.

Таким образом, создана плотностная модель триасового Даниловского грабена Западной Сибири на весь гравиактивный слой на участке моделирования, показывающая:

под осевой частью грабена на глубине 6–12 км должны быть породы со значительной избыточной

плотностью 0.3 г/см³ и выше, которые слагают, по всей видимости, триасовый мантийный диапир;

липариты, образующие несколько тел неправильной формы на геологической карте фундамента в результате моделирования, на глубине соединяются в единое лополитообразное субвулканическое тело, поднимающееся от глубины 5.5 км к эрозионной поверхности фундамента;

дно грабена выполаживается в направлении с юго-юго-запада на северо-северо-восток, что и объясняет ранее непонятное присутствие каменноугольных сланцев среди триасовых отложений.

Исследования проводятся в рамках проектов УрО РАН 12–5–6–005-Арктика, 13–5–005-НДР и РФФИ 13–05–96032р_урал_a.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Ананьева Е.М., Винничук Н.Н., Иванов К.С. и др.* О плотности пород востока Урала и фундамента Западно-Сибирской платформы. Екатеринбург: УрО РАН, 2008. 114 с.
2. *Бочкарев В.С., Брехунцов А.М., Дещеня Н.П.* // Геология и геофизика. 2003. Т. 44. № 1/2. С. 120–143.
3. *Иванов К.П.* Триасовая трапповая формация Урала. М.: Наука, 1974. 155 с.
4. *Иванов К.С., Кормильцев В.В., Федоров Ю.Н. и др.* В сб.: Пути реализации нефтегазового потенциала ХМАО. Ханты-Мансийск: ИздатНаукаСервис, 2003. Т. 1. С. 102–113.
5. *Иванов К.С., Коротеев В.А., Печеркин М.Ф. и др.* // Геология и геофизика. 2009. Т. 50. № 4. С. 484–501.
6. *Иванов К.С., Федоров Ю.Н., Кормильцев В.В.* // ДАН. 2005. Т. 404. № 4. С. 413–417.
7. *Казаков А.М., Константинов А.Г., Курушин Н.И. и др.* Стратиграфия нефтегазоносных бассейнов Сибири. Триасовая система. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2002. 322 с.
8. *Клец А.Г., Конторович В.А., Иванов К.С. и др.* В сб.: Пути реализации нефтегазового и рудного потенциала ХМАО. Ханты-Мансийск: ИздатНаукаСервис, 2007. Т. 1. С. 79–90.
9. *Конторович А.Э., Нестеров И.И., Салманов Ф.К. и др.* Геология нефти и газа Западной Сибири. М.: Недра, 1975. 679 с.
10. *Костров Н.П., Кормильцев В.В., Федоров Ю.Н.* // Горные ведомости. 2005. № 1. С. 57–61.
11. *Куликов П.К., Белоусов А.П., Латыпов А.А.* // Геотектоника. 1972. № 6. С. 79–87.
12. Объяснительная записка к региональным стратиграфическим схемам мезозоя Западно-Сибирской равнины. Тюмень: ЗапСибНИГНИ, 1991. 53 с.
13. *Предтеченская Е.А.* Катагенетические преобразования нижне-среднеюрских нефтегазоносных отложений Западно-Сибирского осадочного мегабассейна. Автореферат докт. дис. Екатеринбург: ИГГ УрО РАН/СНИИГГиМС, 2011. 40 с.
14. *Сурков В.С., Жеро О.Г.* Фундамент и развитие платформенного чехла Западно-Сибирской плиты. М.: Недра, 1984. 143 с.
15. *Reichow M.K., Pringle M.S., Al'Mukhamedov A.I., et al.* // Earth and Planet. Sci. Lett. 2009. V. 277. Iss. 1–2. P. 9–20.