

УДК 552.11: 552:551:550.42

ВОССТАНОВЛЕННАЯ ИНТРУЗИВНО-СВЯЗАННАЯ ЧОЙСКАЯ МАГМО-РУДНО-МЕТАСОМАТИЧЕСКАЯ W-AU-TE СИСТЕМА ГОРНОГО АЛТАЯ**¹Гусев А.И., ²Гусев Н.И., ¹Табакеева Е.М.**¹*Алтайский государственный гуманитарно-педагогический университет им. В.М. Шукшина, Бийск, e-mail: anzerg@mail.ru;*²*Всероссийский геологический институт им. А.П. Карпинского (ВСЕГЕИ), Санкт-Петербург, e-mail: Nikolay_gusev@vsegei.ru*

Рассмотрена перспективная восстановленная интрузивно-связанная Чойская комплексная вольфрам-золото-теллуридная скарновая система, в которой проявлена высокая редуцированность магматогенных флюидов и гидротермальных растворов. Генерирующий магматизм относится к сильно-контаминированному и редуцированному I-типу гранитов. Поздний этап магмогенерации связан с внедрением лампрофиров чуйского комплекса: спессартитов, одинитов, вогезитов, керсантитов, минет. В скарнах восстановленный режим минералообразования подтверждается существенно пироксеновым составом на ранних этапах и отсутствием граната. В рудном теле выявлены флюидо-эксплозивные брекчии и прожилково-вкрапленное порфировое оруденение. Редуцированность гидротерм продуктивного этапа подтверждается насыщенностью газовой-жидких включений в кварце восстановленными формами летучих CH_4 , N_2 , CO_2 , C , H_2 , HCl .

Ключевые слова: рудогенерирующий магматизм, гранитоиды, лампрофиты, скарны, флюидо-эксплозивные брекчии, золото, вольфрам, теллур

REDUCED INTRUSION-RELATED CHOISKAJA MAGMO-ORE-METASOMATIC W-AU-TE SYSTEM OF MOUNTAIN ALTAI**¹Gusev A.I., ²Gusev N.I., ¹Tabakaeva E.M.**¹*The Shukshin Altai State Academy of Education, Biisk, e-mail: anzerg@mail.ru;*²*A.P. Karpinsky Russian Geological Research Institute, Saint-Petersburg, e-mail: Nikolay_gusev@vsegei.ru*

Perspective reduced intrusive-related Choiskaja complex tungsten-gold-telluride skarn system viewed that it was displayed high reduction of magmatic fluids and hydrothermal solutions. Generating magmatism treat to strong contamination and reduced I-type granites. The later stage of magmo-generating connected with intrusion lamprophyre Chuiskii complex: spessartites, odinites, vogezeites, kersantites, minetes. The reduced regime of mineralization in skarns confirmed creature pyroxene composition on the early stages and absence of granate. Fluid-explosive breccia and stringer-disseminated porphyre ore mineralization discovered in the ore body. Reduced of hydrotherm of production stage confirm by saturation gas-liquid inclusions in quartz by reduced forms of volatile compobents CH_4 , N_2 , CO_2 , C , H_2 , HCl .

Keywords: ore-generating magmatism, granitoids, lamprophyres, skarns, fluid-explosive breccia, gold, tungsten, tellurium

Восстановленные или редуцированные золотоносные системы, пространственно и парагенетически связанные с интрузиями, генерируют специфические золоторудные месторождения разного масштаба – от мелких до супергигантских, к числу которых относятся месторождения мирового класса по запасам золота Мурунтау (Узбекистан), Сухой Лог (Забайкалье), Кумтор (Киргизия) и другие. Редуцированные золоторудные системы формируют месторождения жильного золото-сульфидно-кварцевого, штоково-веркового и скарнового типов [4]. Высокая восстановленность прослеживается на всех этапах становления таких месторождений – от магматогенных флюидов рудогенерирующих магматитов до гидротермальных растворов продуктивных ассоциаций. В Горном Алтае к этому типу относится несколько золоторудных систем: Караминская, Баранчинская, Базлинская, Чойская.

Цель исследования – изучить петролого-геохимические особенности весьма перспективной Чойской магмо-рудно-метасоматической системы (МРМС).

Результаты исследования и их обсуждение

Чойское рудное поле сложено терригенно-карбонатными образованиями тандошинской и ишпинской свит, прорванных Чойским гранитоидным массивом синюхинского комплекса (D_{1-2}), субвулканическим Бийским массивом порфировых гранитоидов и роями даек различных по составу и возрасту (от девона до мезозоя) (рис. 1). Месторождение располагается на юго-восточном «плече» субширотно вытянутого рудогенерирующего Чойского массива гранитоидов и субмеридионального роя даек лампрофитов: спессартитов, вогезитов, минетт и керсанитов.

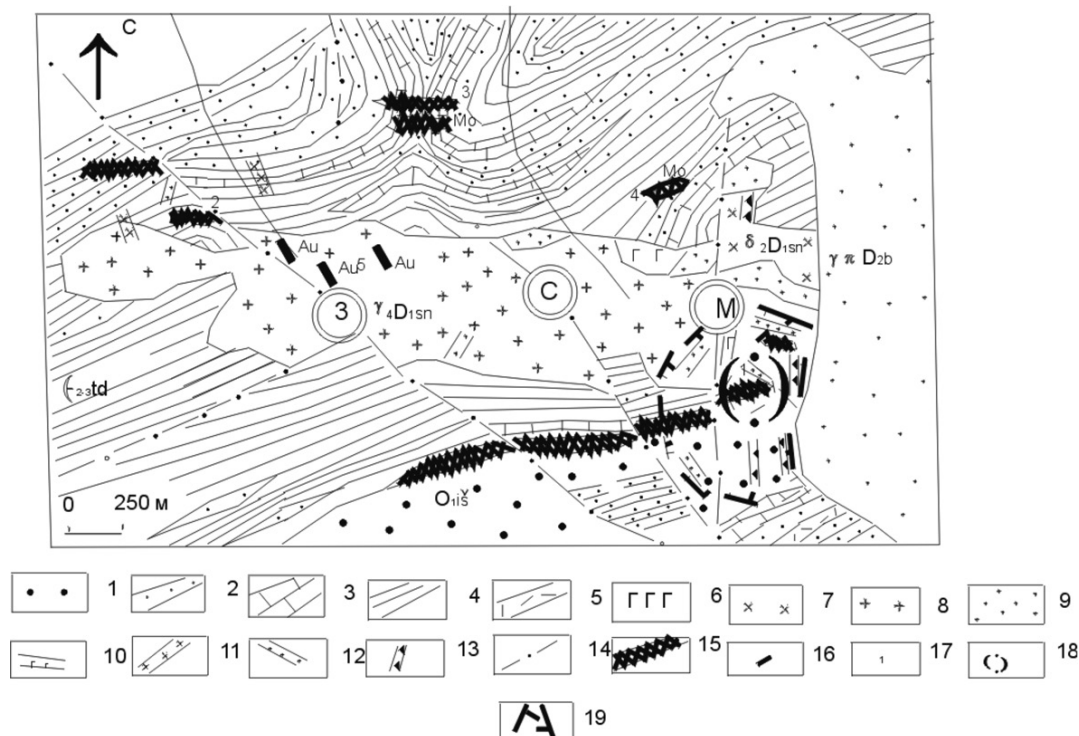


Рис. 1. Схематическая геологическая карта Чойского рудного поля. Породы ишпинской (iш) и тандошинской (td) свит: 1 – конгломераты; 2 – песчаники; 3 – известняки; 4 – алевролиты, аргиллиты; 5 – туфы кислого состава; синюхинский интрузивный комплекс: 6 – габбро 1 фазы внедрения; 7 – диориты, кварцевые диориты 2 фазы; 8 – граниты 4 фазы; байгольский субвулканический порфировый комплекс: 9 – гранит-порфиры; 10 – дайки долеритовых порфиров; 11 – дайки диоритов; 12 – дайки гранит-порфиров; автономный чуйский дайковый комплекс: 13 – керсантиты, минетты, спессартиты, вогезиты; 14 – разломы (З – Западный, С – Смородинов, М – Меридиональный); 15 – скарны; 16 – кварцевые жилы с золото-сульфидно-кварцевым оруденением; 16 – рудные участки: 1 – Центральный, 2 – Пихтовый, 3 – Смородинов, 4 – Северо-Восточный, 5 – Гранитный; 17 – участок стратиформного оруденения; 18 – тело флюидо-эксплозивных брекчий с золото-порфировым оруденением; 19 – кольцевая структура центрального типа, подчёркиваемая системой кольцевых и радиальных даек

Характерной особенностью рудогенерирующих гранитоидов Чойского массива является его высокая восстановленность или редуцированность, что подтверждается положением их в пределах поля сильно контаминированных и редуцированных гранитов I-типа на диаграмме (рис. 2).

Гранитоиды относятся к Sr- не деплетированному и I- не деплетированному типу гранитоидов. Это указывает на плавление плагиоклаз-содержащего субстрата в глубинном очаге. Параметры флюидного режима рудогенерирующих гранитоидов и лампрофиров Чойской МРМС приведены в таблице.

Оптимальное сочетание параметров флюидного режима анализируемых магматитов определяет поле их кристаллизации вблизи никель-бунзенитовой буферной смеси. Высоко редуцированное

состояние расплавов создаёт условия для кристаллизации таких аксессуаров, как ильменит и пирит. Известно, что в сильно восстановленных магмах сера присутствует в виде HS^- , которая более растворима в силикатных расплавах и способствует образованию сульфидных глобул, селекционирующих золото из расплава. Высокая активность HCl , судя по высокой её фугитивности во флюидах, предполагает существенную роль хлоридных комплексов, являющихся одними из главных в переносе золота гидротермальными растворами. Известно, что переход хлора во флюидную фазу является функцией режима воды в магматическом процессе. Отделение водной газовой фазы из расплава, вследствие очень высоких коэффициентов распределения хлора между расплавом и газовой фазой [6], приводит

к интенсивному высвобождению хлора из магмы. Последний, в силу высокой активности, образовывал комплексы, которые экстрагировали золото из магмы. Таким образом, флюидный режим магматической составляющей Чойской МРМС мог способствовать образованию концентрированного золотого оруденения. В характеризуемом рудном поле проявлено сложное по составу и морфологическим особенностям оруденение: молибденит-шеелитовое скарновое, золото-теллуридное скарновое, кварц-золото-теллуридное жильное, медно-цинково-золото-теллуридное стратиформное и золото-порфировое, формировавшиеся в несколько этапов на протяжении длительного интервала времени от девона до нижней юры. Чойское месторождение, таким образом, совмещает в себе гетерохронные и полигенные образования слабо изученные на флангах и на глубину. В формировании сложного скарново-золото-порфирового оруденения выделяется несколько этапов. Ранний из них реализован в скарнах. Самая крупная Центральная скарновая залежь приурочена к межформационному несогласию, осложнённого трещиноватостью в плоскости контакта различных по литологическому составу свит. Скар-

ны существенно пироксеновые, пироксен-эпидотовые. Ранний пироксен диопсидового состава и отсутствие граната в ранней ассоциации весьма характерно для редуцированных скарнов по мнению Л. Мейнерта [5]. Более поздние скарны гранат-волластонитовые с редкими скаполитом, бустамитом и везувианом. Залежь имеет пластообразную форму мощностью от нескольких метров до 24 м. Протяжённость по простиранию более 1 км. Длина по падению варьирует от 400 м до более 1 км. Запасы золота категории C_2 оценены в 466 кг. Скарны относятся к инфильтрационному типу известковых скарнов пироксен-гранатовый и пироксен-эпидотовый фациям. Они обнаруживают зональное строение по простиранию. С востока на запад в скарновой залежи уменьшается количество граната, скаполита и увеличивается содержание волластонита, везувиана. Гранат по составу маложелезистый, близок к гроссуляру, пироксен же – высокожелезистый геденбергит и диопсид. Температуры гомогенизации первичных газово-жидких включений в минералах скарнов раннего этапа составляет 495–670 °С. Общая солёность включений превышала предел насыщения растворов (28–33 вес. % в эквиваленте NaCl).

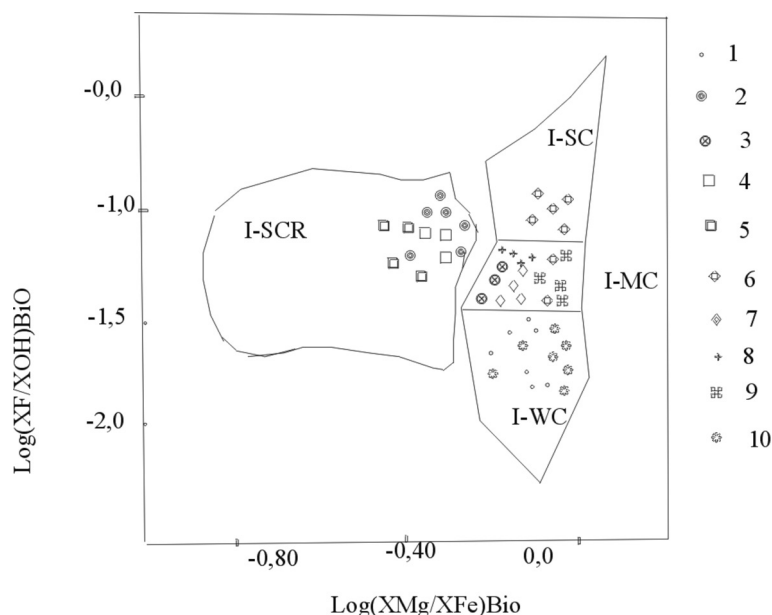


Рис. 2. Диаграмма $\log (X_{Mg}/X_{Fe}) - \log (X_F/X_{OH})$ в биотитах золотогенерирующих гранитоидов Горного Алтая и Горной Шории. Петрогенетические типы гранитоидов по [3]: I-WC – I тип слабо загрязненный; I-MC – I тип умеренно загрязненный; I-SC – I тип сильно загрязненный и редуцированный. Гранитоиды МРМС региона: 1 – Синюхинской, 2 – Чойской, 3 – Лысухинской, 4 – Караминской, 5 – Топольнинской, 6 – Ульменской, 7 – Бацелакской, 8 – Майской, 9 – Югалинской, 10 – Ашпанакской

Параметры флюидного режима некоторых золотогенерирующих гранитоидов
Горного Алтая (фугитивность и давление даны в килобарах)

Магмо-рудно-метасоматические системы, породы	Типы гранитоидов	T ° C	lg fO ₂	fH ₂ O	pH ₂ O	pCO ₂	lg fO ₂ /fH ₂ O	lg fHF/fHCl	K _{вос}	(pH ₂ O + pCO ₂)/pH ₂ O
Синюхинская: тоналиты	I-WC	840	-4.9	0.9	1.1	1.3	-7.9	-3.8	0.12	2.20
гранодиориты	I-WC	845	-4.8	1.2	1.7	1.8	-7.8	-3.9	0.14	2.10
Караминская: гранодиориты	I-SCR	680	-13.0	0.7	0.85	1.05	-16	-2.5	0.57	2.23
сиениты	I-SCR	730	-12.1	2.2	2.5	3.7	-15.1	-2.7	0.4	2.48
Топольнинская: гранодиориты	I-SC	560	-12.5	0.77	0.93	1.2	-15.6	-2.6	0.15	2.3
Бащелакская: гранодиориты	I-MC	620	-11.0	0.66	0.81	0.89	-13.9	-3.1	0.19	2.09
Чурунская: граносиениты	A ₁	650	-13.2	1.0	1.5	3.7	-16.2	-2.5	0.70	3.47
Чойская: гранодиориты	I-SCR	645	-15,0	0,47	0,56	0,55	-18	-2,7	0,55	1,98
керсантиты (дайки)	—	670	-12,5	0,9	1,4	3,6	-15,5	-2,9	0,58	3,57

Примечание: T ° C – температура кристаллизации; lg fO₂ – логарифм фугитивности кислорода; fH₂O – фугитивность воды; pH₂O, pCO₂ – парциальное давление воды и углекислоты; lg fO₂/fH₂O – логарифм отношений фугитивностей кислорода и воды; K_{вос} – коэффициент восстановленности флюидов. Типы гранитоидов: I-WC – I-тип слабо контаминированный; I-MC – I-тип умеренно контаминированный; I-SC – I-тип сильно контаминированный; I-SCR – I-тип сильно контаминированный и редуцированный.

Второй этап формирования Чойского месторождения связан с внедрением гранит-порфиров байгольского комплекса, внедрением даек этого же комплекса и образованием флюидо-эксплозивных брекчий, наложенных на скарны. Чойское месторождение ранее считалось исключительно скарновым. Однако в последнее время получены новые данные, позволяющие рассматривать его более сложным объектом (скарново-золото-порфировым). Критерии отнесения к порфировым объектам: наблюдается пространственная связь золотого оруденения с порфировым байгольским комплексом, прожилково-вкрапленный и вкрапленный характер минерализации во флюидо-эксплозивных брекчиях за пределами скарновой залежи. В районе Центрального рудного тела обнаружены флюидо-эксплозивные брекции, тяготеющие к дайкам порфирового типа, по составу варьирующие от долеритов до гранит-порфиров, а также серию лампрофиров (керсантитов, минетт, спессартинов). Трубообразное тело брекчий имеет округлую форму и измеряется несколькими десятками метров. Описанные брекции находятся в центре более крупной кольцевой структуры центрального типа в диаметре около 3 км, подчёркиваемой роём кольцевых и радиальных даек. Обломки во флюи-

до-эксплозивных брекциях имеют размеры от 0,5 до 1×3 см. Форма их остроугольная и причудливая в удлинённых обломках с заливами и выступами. Цемент брекчий представлен дроблёным материалом конгломератов, а также – кварц-эпидотовый, кварц-актинолитовый, кварц-турмалин-эпидотовый, кварц-ортоклазовый состав. Вероятно, с этим же этапом связаны многостадийные пневматолито-гидротермальные метасоматические ассоциации, наложенные на скарны. Последние нередко имеют полосчатое строение с образованием своеобразных «бурундучных» текстур.

В первую стадию кристаллизовались везувиан и альбит-олигоклаз в виде гнёзд и линз до 5×30 см. Реже отмечаются зональные прожилки (мощностью 3-5 см) альбит-везувианового состава с обособлением везувиана в центре, а альбита – по зальбандам. Вторая стадия проявилась после интенсивного дробления скарнов. Агрегаты второй стадии объединяют широкий спектр минералов в различных сочетаниях: скаполит, пренит, эпидот 2 генерации, клиноцоизит, кварц 2, пирит 2, кальцит 2. В эту стадию формировались прожилки мощностью от 1 до 7 см. Содержание δ³⁴S в сере пирита 2 генерации колеблется от – 3,5 до + 3,9 ‰, указывающее

на неконтаминированный магматический источник серы.

В третью стадию описываемого этапа образовались волластонит, малиновый бустамит, кварц 3, кальцит 2, гранат 2. Последний андрадитового ряда, имеет зональное строение и характеризуется оптическими аномалиями. Минералы этой стадии образуют прожилки (1-3 см), гнезда (0,5×1,5 м). Общая солёность флюидных включений в минералах всех описанных стадий укладывается в интервал 5,5-7,8 вес. % NaCl, указывая на резко разбавленный состав растворов, из которых кристаллизовались минералы. Кроме того, в стадию пневматолито-гидротермальных метасоматических изменений резко увеличилась роль и активность летучих компонентов. Температуры образования минералов этого этапа составляли 280-440 °С. Наложённая гидротермальная минерализация продуктивного этапа формировалась также в 3 стадии. Ранняя из них ограничилась кристаллизацией кварца 4 генерации в виде прожилков мощностью 2-5 см. Температуры гомогенизации первичных газовой-жидких включений кварца 4 генерации осуществлялась в интервале 240-310 °С.

Во вторую стадию кристаллизовался тесный парагенез кварца 5 генерации, тетрадимита, золота, хедлейита, теллуриовисмутита, мальдонита, буланжерита, самородного висмута, а также Bi-Pb сульфосоединений. Декрепитация тетрадимита, тесно ассоциирующего с золотом, проходит в интервале 150-190 °С. Флюиды продуктивного этапа отличались высокой восстановленностью, о чём свидетельствует набор газовых смесей в маточных растворах кварца 5 генерации: CH₄, N₂, CO₂, C, H₂, HCl. Предполагается заимствование CH₄ и C_{орг} из рудовмещающих углеродистых сланцев тандошинской свиты. Общая солёность флюидных включений в минералах гидротермальной стадии прогрессивно снижалась от 4,5 до 0,8 вес. % NaCl.

Золото тяготеет к области распространения флюидо-эксплозивных брекчий, а ураганно высокие концентрации локализуются, преимущественно, в так называемом, «кварцевом ядре» с обильными гнездами и линзочками фисташково-зелёного эпидота 2 генерации. В нём соотношение Fe:Al = 1:1,23, значительно ниже, чем в эпидоте скарного парагенеза. Снижение концентраций глинозёма во второй генерации происходит с параллельным увеличением содержания воды. Кроме того, во второй генерации эпидота повышенное количество Fe³⁺. Увеличение содержания

железа в эпидоте второй генерации указывает на более кислотную обстановку гидротермального этапа минералообразования [2]. Высокая кислотность среды кристаллизации золота подтверждается также и тем, что тесный парагенезис золота характеризуется высокими значениями кислотности среды кристаллизации по условным потенциалам ионизации (в ккал/моль): кварца (227, 3), тетрадимита (191,2), эпидота (195,8) согласно кислотно-основным характеристикам по [1].

В восточной части Центральной скарновой залежи сформировались Первое и Второе золоторудные тела. Локализуются они в средней части залежи. Наиболее богатое оруденение приурочено к участкам кварц-эпидотовых жил и прожилков, а также гнезд метасоматитов кварц-эпидот-хлоритового состава, развитым по гранатовым скармам. Золото ассоциирует с тетрадимитом. Содержания его варьируют от 5 до 288 г/т, среднее содержание по рудному телу 23,2 г/т. Запасы золота категории C₂ оценены в 466 кг. Размер золотинок от 0,1 до 4 мм, подавляющее их число в классе 0,071 мм. Проба золотинок варьирует от 917 до 986‰. По технологической пробе она составляет 934‰. Основные примеси в золоте – медь, молибден, висмут, серебро, теллур. На выклинивании рудного тела отмечаются редкие мелкие выделения молибдошеелита, шеелита, халькопирита, пирротина, сфалерита, общее количество которых не достигает 1 %. В тетрадимите по двум пробам содержания золота составляют 1500 и 1700 г/т.

По некоторым типам описанного выше оруденения и магматическим образованиям проанализированы изотопы серы пиритов. Для пиритов характерен однородный состав изотопов серы с небольшими вариациями в гранитоидах, лампрофитрах, скарных и жильных образованиях от + 3,9 до – 3,5‰. Близкие к метеоритному стандарту значения тяжёлого изотопа серы показывает вкрапленный пирит во флюидо-эксплозивных брекчиях (от – 0,5 до + 0,3‰). Соотношение изотопов серы позволяет предположить, что магматический источник, генерировавший золото-теллуридное оруденение Чойского рудного поля, был не контаминированным мантийным и высоковосстановленным, к которым относится лампрофировый источник. Кварц-пирит-халькопиритовые прожилки, обнаруженные в песчаниках ишпинской свиты на юге рудного поля, вероятно, связаны с другим источником. Соотношение изотопов серы в пиритах

этих прожилков, по-видимому, свидетельствует о контаминации коровым материалом, к которому предположительно может быть отнесён гранитоидный источник синюхинского комплекса.

Выводы

1. Чойская МРМС относится к полигенным и мультстадийным объектам, связанным с интрузивным не контаминированным лампрофировым магматизмом и сформировавшимся в условиях высоко восстановленного режима.

2. Золотое оруденение предпочтительно формировалось в кислотной среде.

Список литературы

1. Жариков В.А. Кислотно-основные характеристики минералов // Геология рудных месторождений. – 1967. – № 5. – С. 75-89.
2. Маракушев А.А. Термодинамические факторы образования рудной зональности скрытого оруденения на основе зональности гидротермальных месторождений. – М. – Наука. – 1976. – С. 36-51.
3. Ague I.I., Brimhall G.H. Regional variations in bulk chemistry, mineralogy, and the compositions of mafic and accessory minerals in the batholiths of California // Bull. Geol. Sci. Amer., 1988. – V.100. – № 6. – P. 891-911.
4. Hart C.J.R. Reduced Intrusion-Related Gold Systems // Econ.Geol., 2006. – V. 101. – № 7. – P. 1415-1427.
5. Meinert L.D. Gold in skarn deposits – a preliminary overview // Mineralized porphyry/skarn systems: Mineralogical Association of Canada, Short Series, 1998. – V. 26. – P. 359-414.
6. Rollinson H. Using geochemical data: evaluation, presentation, interpretation. – New York. – 1993. – 345 p.