

ПРИРОДНЫЕ И ТЕХНОПРИРОДНЫЕ ПРОЦЕССЫ

УДК 624.131.1:551.252

ТЕХНОГЕННЫЕ ФАКТОРЫ АКТИВИЗАЦИИ КАРСТА В НАДСОЛЯНЫХ ТОЛЩАХ КАЛИЙНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ В ПЕРМСКОМ КРАЕ РФ

© 2018 г. Ю. А. Мамаев^{1,*}, А. А. Ястребов¹

¹Институт геоэкологии им. Е.М. Сергеева РАН, Уланский пер. д.13, стр. 2, Москва, 101000 Россия

*E-mail: mamaev47ya@mail.ru

Поступила в редакцию 17.10.2017 г.

На примере территории Березниковского промышленного района в Пермском Крае дана оценка влияния техногенных воздействий на активизацию суффозионно-карстовых процессов в толщах карстующихся пород. Рассматриваются две группы техногенных факторов. Первая группа – промышленные объекты: подземные горные выработки, водохранилища, нефтяные и водозаборные скважины и другие объекты, оказывающие непосредственное гидрогеодинамическое воздействие на строение и состояние массивов пород, изменение характера и величин действующих в них напряжений, гидродинамических режимов подземных вод, газонасыщенности и другие особенности. Вторая группа техногенных факторов связана с геохимическим воздействием действующих промышленных производств на геологическую среду района. Газовые выбросы, выпуски загрязненных вод, полигоны и свалки промышленных отходов способствуют повышению агрессивности природных сред: почв, грунтов, подземных и поверхностных вод, и активизации карстовых процессов. Синергизм воздействий обеих групп техногенных факторов обуславливает многократное увеличение скоростей и масштабов развития карстовых процессов.

Ключевые слова: суффозионно-карстовые процессы, техногенные воздействия, промышленные объекты, газовые выбросы, выпуски и полигоны отходов, активизация процессов

DOI: 10.1134/S0869780318040142

Проблемы, возникающие при техногенном освоении недр Земли – масштабны и разнообразны. При этом воздействия на окружающую среду значительны и подчас крайне негативны с экологических позиций:

– изъятие сельскохозяйственных угодий, сведение лесов, загрязнение поверхностных водных объектов;

– изменение рельефа местности из-за создания котлованов большой глубины, разрушение массивов горных пород при освоении месторождений твердых полезных ископаемых на строительный камень, образование искусственных гор – терриконов в местах добычи угля, минеральных солей, строительных материалов и др.

– активизация опасных геологических процессов (ОГП): эрозионных, суффозионно-карстовых, склоновых, гидрогеологических и др.

– истощение запасов природных минеральных ресурсов, в том числе пресных питьевых вод;

– ухудшение экологических условий вследствие промышленных выбросов, выпусков, образования полигонов хранения отходов и загрязнения природных сред.

В настоящее время экологические последствия освоения недр стали представлять реаль-

ную угрозу социально-экономическому развитию отдельных регионов, ухудшая условия (качество) жизни населения и прямо подвергая жизнь людей опасности; оказывая негативные воздействия на технологические процессы, вызывая аварии и ЧС [1].

Один из наиболее промышленно развитых регионов РФ – Пермский край, который характеризуется разнообразием и сложностью природных условий, масштабностью и комплексностью развития геологических процессов, интенсивностью техногенных преобразований. Более 300 лет на территории Пермского края с нарастающей интенсивностью осуществляется эксплуатация промышленных объектов и добыча полезных ископаемых, в том числе железных, хромитовых и медных руд, калийных, магниевых и каменной солей, нефти, газа, минеральных вод, угля, золота, драгоценных камней и др. На данной территории активно проявляются опасные процессы: сейсмотектонические, суффозионно-карстовые, гидрологические, оползневые, деформационные, связанные с просадочностью грунтов и подработкой территорий, процессы химического и радиационного загрязнения и другие, что определяет высокий уровень техногенной нагрузки на при-



Рис. 1. Общий вид территории рудника и обогатительной фабрики.

родную (геологическую) среду и риска возникновения природно-техногенных катастроф.

Самая крупная градопромышленная агломерация на территории края – Соликамско-Березниковская (СБ ГПА), расположена в центре крупнейшего в РФ Верхнекамского месторождения калийных солей (ВКМКС). Площадь СБ ГПА составляет примерно 2000 км² и включает крупные гражданские и промышленные объекты: два города – Соликамск (100 тыс. чел.) и Березники (150 тыс. чел.), 12 участков добычи калийных солей, 15 месторождений нефти, 8 водозаборов, а также более 160 крупных промышленных предприятий с опасным производством и сложной транспортной и инженерной инфраструктурой.

На территории калийных рудников СБ ГПА с 1986 г. по 2015 г. произошло шесть крупных техногенных аварий с образованием участков оседания и карстовых провалов земной поверхности.

Основная причина активного развития деформационных и карстовых процессов на рассматриваемой территории – разработка залежи калий-

ных солей подземными выработками большого объема (до 80 млн. м³) (рис. 1), которые в целом ослабили массивы пород соляных и надсоляных толщ, повысили их пустотность, изменили гидродинамические и гидрохимические условия фильтрации подземных вод и в конечном счете привели к деформациям, разрушениям и затоплению подземных выработок, образованию на земной поверхности мульд оседания и провалов больших размеров.

Усилению этих процессов при авариях способствует длительная (многomesячная) вертикальная промывная фильтрация поверхностных и подземных вод через трещиноватые карстующиеся породы надсоляной толщи в горные выработки, расположенные на глубинах 200–350 м от поверхности. На активизацию карстового процесса влияют нарушения гидродинамического и гидрохимического режимов подземных вод, обусловленные разрушением (обрушением кровли) затопленных горных выработок и выходом (выдавливанием) в приповерхностную зону высокоминерализованных шахтных вод с большим содержанием загрязняющих веществ, поднимающихся по горным выработкам с разгрузкой в толщи вышележащих выветрелых трещиноватых пород и водоносные горизонты [3].

Важным техногенным фактором активизации карстово-суффозионных процессов стало создание в 1954 г. Камского водохранилища, которое способствует ежегодному циклическому обводнению паводковыми водами грунтовых толщ четвертичных отложений разного генезиса и зон выветривания и повышенной трещиноватости коренных пород. Это ускоряет процесс образования пустот в массивах карстующихся пород за счет их растворения, выщелачивания и механического выноса мелких грунтовых частиц при увеличении объемов и скоростей фильтрации подземных вод (рис. 2).



Рис. 2. Инженерные сооружения в долине р. Кама на площади калийного рудника СБ ГПА.

Исследования на объемных математических геофильтрационных моделях влияния режима Камского водохранилища на гидродинамические условия в массивах пород надсоляной толщи для случаев проектного максимального (МПУ) и аномально высокого (при климатической аномалии) уровней воды в водохранилище показали, что пространственное распространение подпора водохранилища в береговые массивы может распространяться на расстояния от 0.5 до 5–6 км от уреза воды и занимать при этом от 20 до 60% площадей подработанных территорий рудников, прилегающих к водохранилищу. Это обуславливает увеличение объемов, напоров, градиентов и скоростей фильтрации подземных вод в массивах пород. При этом возникает дополнительное силовое объемное воздействие вод подпертого горизонта мощностью от 0.5 до 10 м на кровлю ниже лежащей соляной залежи, включая ее водозащитную толщу (ВЗТ), за счет увеличения гидростатических напоров. С учетом разной мощности подпора и глубины залегания соляных пород это дает прирост вертикальных напряжений от 0.3 до 1.3 Па, что при значительных площадях залежи, воспринимающих дополнительное давление в пределах разных рудников (12–43 км²), создает ощутимые суммарные давления в десятки и первые сотни миллионы тонн.

В процессе зимней сработки объема воды Камского водохранилища на 70–80%, существенно (в 1.5–3 раза) увеличиваются градиенты фильтрационных потоков разгружающихся в водохранилище и переуглубленную долину Пра-Камы. Это также приводит к развитию дополнительного гидродинамического давления и активизации суффозионно-карстовых процессов в массивах пород.

Аналогичное влияние оказывают искусственные запрудные водоемы в долинах рек – притоках Камы. Местоположение водохранилищ и прудов часто совпадает с участками выхода на поверхность дислоцированных трещиноватых растворимых пород соляно-мергельной толщи, что создает благоприятные условия для растворения галлоидных, сульфатных и карбонатных пород при высоких гидравлических градиентах вертикальной фильтрации. Уровни воды в искусственных прудах обычно на несколько метров (4–5 м) превышают нормально подпертый уровень (НПУ) Камского водохранилища, что обуславливает прибавочную фильтрацию в долины рек.

Определенное влияние на изменение гидродинамического режима подземных вод и активизацию суффозионно-карстовых процессов в верхних приповерхностных сильно выветрелых толщах коренных пород оказывает откачка пресных вод объемом до 200 тыс. м³/сут из надсоляного водоносного горизонта.

К техногенным факторам, влияющим на активизацию карстовых процессов на рассматриваемой территории, относится добыча нефти из подсоляных отложений с глубин 1700–2300 м. Разведка и эксплуатация нефтяных месторождений обуславливает дополнительное газонасыщение массивов пород, залегающих выше, в том числе соляных и надсоляных толщ. Насыщенность толщ горных пород газовыми эманациями метана, диоксида углерода, сероводорода, углеводородных компонентов и других газов, присутствующих в рассеянном, связанном и растворенном видах, обуславливает повышенную агрессивность подземных вод и ускоряет процессы растворения, выщелачивания и массопереноса отдельных элементов в десятки раз. Для территории Верхнекамского месторождения калийных солей основным газом-индикатором процесса активного газоразделения является метан (СН₄), который обладает высокой миграционной способностью. При диссоциации в воде метан выделяет диоксид углерода (СО₂), способный многократно ускорять процесс растворения в карбонатных породах.

Установлено, что выделение метана (в меньшей степени сероводорода) может происходить при выщелачивании массивов соляных пород, залегающих на глубине, и при дегазации деформируемых соляных и надсоляных толщ горных пород и заземленных газовоздушных шапок в подземных выработках. Известны случаи (1986 и 2007 гг.), когда на рассматриваемой территории при авариях с затоплением шахтного пространства происходили мощные взрывы с выбросами в атмосферу на высоту до 100 м соленосной газопылевой смеси с запахом сероводорода. Отсутствие или незначительное количество газов в подпочвенном воздухе указывает на стабилизацию процессов выщелачивания массивов соляных пород. Увеличение же количества и скорости накопления газов в подпочвенном воздухе свидетельствует об активно протекающих процессах растворения пород и (или) деформирования толщ горных пород.

Крупные объекты техносферы, связанные с горнодобывающим и горнохимическим производством, оказывают кроме физического значительное геохимическое воздействие на геологическую среду. Газовые выбросы, выпуски загрязненных вод, полигоны и свалка промышленных отходов обуславливают агрессивное воздействие на окружающую природную среду, в т.ч. почвы, грунты, поверхностные и подземные воды, вызывая активизацию гидрогеохимических процессов в массивах горных пород и, в первую очередь, карста.

Промышленные зоны главных городов СБ ГПА (Соликамск и Березники) располагаются в широких излучинах левого берега р. Камы и зани-

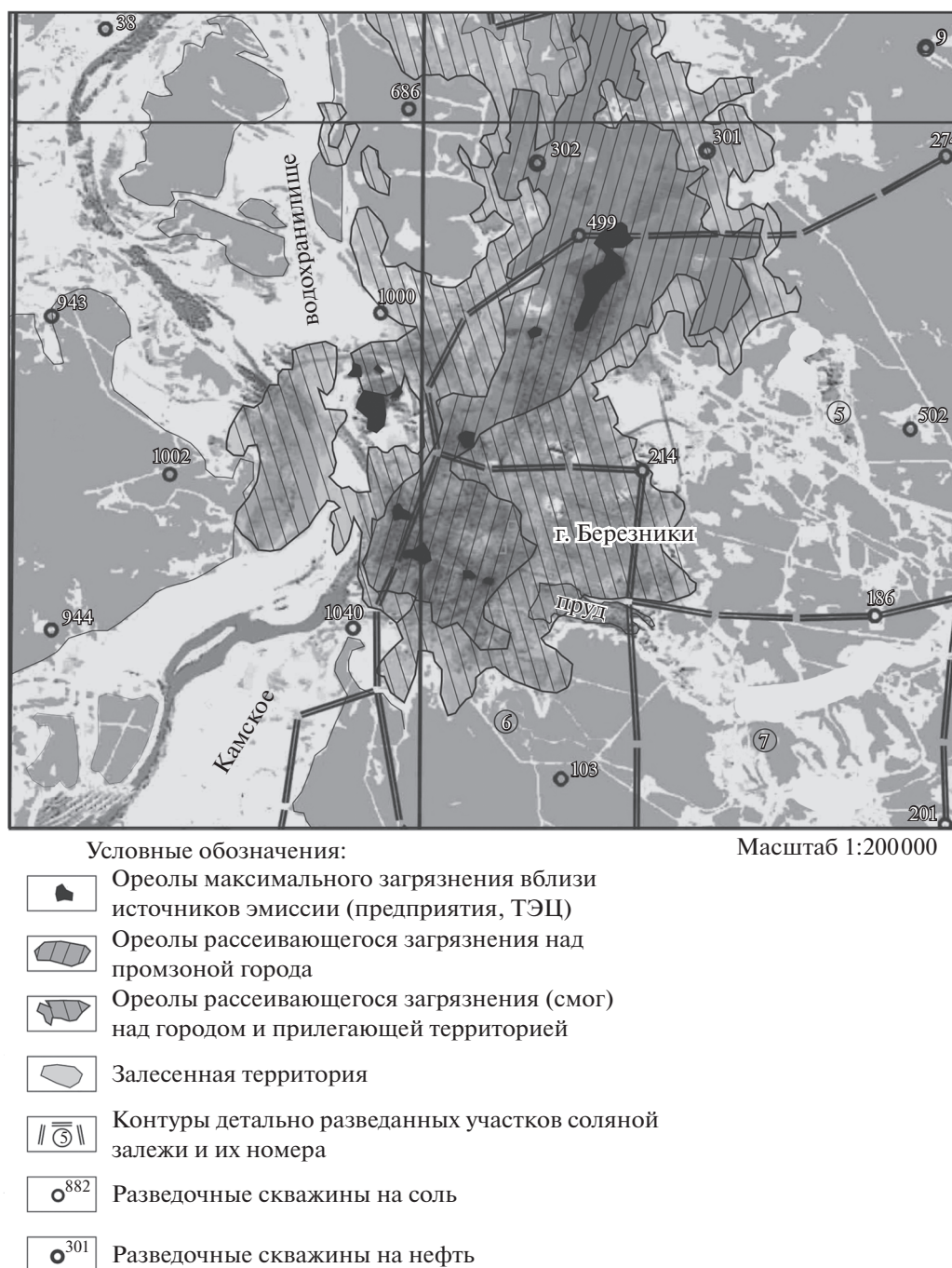


Рис. 3. Схема загрязнения воздушного бассейна района СБ ГПА (по материалам дешифрирования КФС).

мают значительные площади 100 и 140 км². В общей сложности они включают участки около 1200 хозяйствующих субъектов с различной формой собственности и видами деятельности. Из них порядка 150 предприятий имеют до 1800 стационарных источников выбросов, загрязняющих атмосферный воздух (рис. 3). Предприятия выбрасывают в атмосферу около 160 наименований

загрязняющих веществ, химических элементов и их соединений, включая: алюминий, азот, барий, ванадий, железо, калий, кальций, магний, медь, марганец, натрий, никель, олово, свинец, серу, углерод, хром, кислоты, спирты, фенолы, нефтепродукты, золы, различные виды пыли, красители и микроорганизмы. Наибольшие уровни загрязнения создаются по диоксиду азота, диоксиду серы, оксиду углерода, сероводороду, аммиаку,

соединениям хлора (хлорид калия, хлорид натрия) и пыли [2].

Валовый объем выбросов в атмосферу загрязняющих веществ от стационарных источников в год составляет более 15 тыс. т. Среднемесячные уровни загрязнения атмосферного воздуха отдельными веществами в промзонах городов превышают санитарно-гигиенические нормы.

Расположение промзон в долине р. Камы – наиболее низком морфологическом элементе рельефа, способствует образованию здесь застойных воздушных явлений, смога, выпадению воздушно-капельных кислотных осадков, которые оказывают комплексное воздействие на загрязнение почв, грунтов, поверхностных и подземных вод.

Ветровое движение воздушных масс также способствует загрязнению природных сред за счет процессов раздува и переноса отходов шахтной добычи калийных солей, хранящихся в солеотвалах, шламонакопителях, рассолосборниках, а также отходов химического производства с полигонов. По фондовым данным только на территории промзоны г. Березники скапливается до 140 млн т сырья в виде огромных солеотвалов (рис. 4), ветровые раздувы которых обуславливают формирование полей пылевато-соленосных отложений; границы их распространения выходят далеко за пределы города.

Проникая в почвы, грунты, поверхностные и подземные воды, загрязняющие вещества повышают агрессивность природных сред и способствуют усилению растворяющего воздействия на карстующиеся горные породы, формируя на поверхности и внутри массивов горных пород карстовые формы.

Основные техногенные источники загрязнения поверхностных и подземных вод территории СБ ГПА – сбросы и выпуски недостаточно очищенных сточных вод промышленными и коммунальными предприятиями, шахтные воды рудников и т.д. По массе загрязняющих веществ, сбрасываемых со сточными водами, лидируют предприятия химического и нефтехимического комплексов – 76%. На жилищно-коммунальный и лесопромышленный комплексы приходится 15% массы загрязняющих веществ. Только за 2013 г. в Камское водохранилище с территории промзоны г. Березники сброшено промышленных, хозяйственных и ливневых сточных вод в массе более 650 тыс. т, что изменяет химический состав поверхностных вод.

Местоположение выпусков промышленных стоков в водохранилище обуславливает неравномерное распределение по акватории показателей состава и минерализации вод, которые во многих местах водохранилища, не отвечают нормативным требованиям по качеству для рыбохозяй-



Рис. 4. Вид на солеотвал калийного рудника.

ственных водоемов. В поверхностных водных объектах исследуемой территории отмечается стабильное превышение предельно-допустимых норм: по нефтепродуктам (до 2 ПДК), фенолам (до 2 ПДК), соединениям марганца (до 12 ПДК), меди (до 2 ПДК), железа (до 7 ПДК), аммонийного азота, трудноокисляемых органических веществ и других загрязнителей.

Имея тесную гидравлическую связь с подземными водами зоны активного водообмена, поверхностные воды влияют на их солевой состав и минерализацию и тем самым на активизацию карстовых процессов в породах разного петрографического состава [5].

Деятельность промышленных горно-химических комплексов, а также жилищно-коммунальных и лесотехнических предприятий оказывает существенное негативное воздействие на экологические условия территории СБ ГПА из-за накопления огромных объемов промышленных отходов на полигонах и свалках.

В общем, солеотвалами, шламоохранилищами, рассолосборниками и свалками на рассматриваемой территории занято около 4.0 тыс. га лесных и сельскохозяйственных территорий, где существенно изменен природный рельеф. В излучинах р. Камы на широкой ровной поверхности I надпойменной террасы возникли обширные спланированные участки, перекрытые техногенными отложениями мощностью от 2 до 18 м, созданы искусственные холмы солеотвалов высотой от 10 до 80 м, выкопаны водоемы шламоохранилища и рассолосборников, засыпаны отдельные участки естественных водотоков, что приводит к подтоплению и заболачиванию территорий, прорыты русла каналов – коллекторов для отвода жидких промышленных сбросов.

В течение года на полигонах крупных горно-химических предприятий может складываться до 60 тыс. т отходов, часть которых (глинисто-солевые и галитовые отходы) используются для гидрозакладок выработанных подземных пространств и приготовления технических солевых растворов.

Перечисленные объекты также являются источниками активного загрязнения атмосферного воздуха, снежного покрова, почв и грунтов, подземных и поверхностных вод. Названные выше техногенные воздействия носят накопительный синергетический характер, обуславливающий многократное увеличение скоростей и масштабов развития карстовых процессов на рассматриваемой территории.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Безопасность России*. Правовые, социально-экономические и научно-технические аспекты. Реги-

ональные проблемы безопасности с учетом риска возникновения природных и техногенных катастроф. М.: МГФ “Знание”, 1999. 672 с.

2. Государственный доклад о состоянии и об охране окружающей среды Пермского края в 2013 году. Министерство природных ресурсов и экологии РФ. Официальный сайт: <http://www.mnr.gov.ru> (дата обращения: 15.09.2014).
3. *Зверев В.П., Костикова И.А.* О связи изменений химического состава подземных вод территории г.Березники с развитием провальных процессов // *Геоэкология*. 2015. № 6 С. 505–513.
4. *Максимович Н.Г., Первова М.С.* Влияние перетоков минерализованных вод Верхнекамского месторождения калийно-магниевых солей на приповерхностную гидросферу // *Инженерные изыскания*. 2012. № 1. С. 22–28.
5. *Трофимов В.И., Кочнева М.Н.* Гидрогеологическое прогнозирование карстовых процессов на шахтном поле БКПРУ-1 ОАО “Уралкалий” // *Горное эхо*. 2012. Вып. 2 Пермь: ГИ УрО РАН. С. 33–45.

TECHNOGENIC FACTORS OF KARST INTENSIFICATION IN ABOVE-SALT STRATA OF POTASSIUM DEPOSITS IN PERM KRAI, RUSSIA

Yu. A. Mamaev^{a,*} and A. A. Yastrebov^a

^a*Sergeev Institute of Environmental Geoscience, Russian Academy of Sciences, Ulanskii per. 13, str.2, Moscow, 101000 Russia*

**E-mail: mamaev47ya@mail.ru*

The technogenic impact on the intensification of suffusion and karst processes in the karst-prone massifs is assessed for the Berezniki industrial region, Perm krai, Russia. Two groups of technogenic factors are considered. The first group implies industrial objects, i.e., mine workings, water reservoirs, oil and water-intake wells, and other objects that exert the direct hydrogeodynamic impact on the structure and state of the rock massif, as well as on the transformation of stresses in the rock massifs, hydrodynamic regimes of groundwater, gas saturation and other features. The second group of technogenic factors is related to the geochemical impact of operating industries on the geological environment in the region. Gas and contaminated water emissions, dumps and disposal sites for industrial waste make the natural media, i.e., soil, rocks, surface and ground water, more aggressive, and thus, promote the development of karst processes. Synergetic impact of both groups of technogenic factors raise many fold the rates and scales of karst development.

Key words: *karst and suffusion processes, technogenic impact, industrial objects, gas emission, dumps and waste disposal sites, intensification of processes.*

REFERENCES

1. *Безопасность России*. Правовые, социально-экономические и научно-технические аспекты. Региональные проблемы безопасности с учетом риска возникновения природных и техногенных катастроф [Security of Russia. Legal, socio-economic and scientific technological aspects. Regional problems of security with the account of risk of natural and technogenic catastrophs]. Moscow, MGF Znanie Publ., 1999, 672 p. (in Russian)
2. *Gosudarstvennyi doklad o sostoyanii i ob okhrane okruzhayushchei sredy Permskogo kraia v 2013 godu* [State report on the state and conservation of the environment in the Perm krai in 2013]. Ministry of natural resources and ecology of Russian Federation. Website: <http://www.mnr.gov.ru> (accessed 15.09.2014)
3. *Zverev, V.P., Kostikova, I.A.* Relationship of the changes in groundwater chemical composition in the territory of Berezniki town to the development of collapse processes. *Geoekologiya*, 2015, no. 6, pp. 505–513. (in Russian)
4. *Maksimovich, N.G., Pervova, M.S.* Influence of overflowing mineralized water at the Verkhnekamskoe deposit of potassium-magnesium salts on the near-surface hydrosphere. *Inzhenernye izyskaniya*, 2012, no. 1, pp. 22–28. (in Russian)
5. *Trofimov, V.I., Kochneva, M.N.* Hydrogeological prediction of karst processes in the mine field of BKPRU-1 Uralkalii Co. *Gornoe ekho*, 2012, issue 2, Perm, GI UrO RAN, pp. 33–45. (in Russian)