

<http://www.geojournals.cn/dzxb/ch/index.aspx>

陝西寒武紀磷塊岩成因問題的初步探討*

霍 世 誠

通过地层学和古地理学的綫索,不少的沉积磷矿(磷塊岩)已在陝西各地发现,这些磷矿的生成时代为震旦紀与寒武紀。陝西寒武紀磷矿位于下寒武統下部并出現于地台边缘(大巴山地台的北緣),它們的存在显然和我国西南的情况一致,如把陝西属于这个层位的許多矿区加以归納和綜合,不难看出一些生因上的共同性,包括构成磷矿的物质来源和形成磷矿的自然条件。根据成矿的内因与外因进行理論研究,不仅对于磷矿的找寻有所启示,并对由于貧化变薄而使矿体消失得以了解。这样,我們便可掌握矿体的来龙去脉,从而在找矿和勘探等方面获得更加明确的認識。

一、磷矿的物质来源和矿体的堆积

陝西寒武紀磷矿散見于下寒武統的下部,有为結核或条带状的,也有为层状或扁豆体的。这一层內的化石情况各地很不一致:少数矿区含有丰富的动物羣,通常看到的有三叶虫、腕足类、腹足类和古介形虫,根据某些重要标准化石(如 *Wutingaspis*, *Bergeroniellus*)可断定为水井沱頁岩組,略与滇东筇竹寺組相当,这是我国磷矿分布最广的地层之一;但在更多矿区的同一层內,往往不易发现任何化石,虽然偶尔可以找得一些介壳的破碎殘迹。这样缺乏化石的現象,不仅陝西如此,国内其他地区也有一些类似的情况。

由于陝西寒武紀的磷矿层甚至整个含磷岩系內缺乏化石,因而对该地区磷矿的物质来源,就易于造成一种与生物无关的錯覺。实际上,早寒武世早期是生物普遍发育的一个时期,当时該地所成地层沒有含着化石,只是反映了遗体受到腐解,未能保存下来,并非沒有生物存在,这就說明:認識任何事物,必須从內在的本質出发,不要为表面現象所迷惑。

那么,磷是怎样来的呢?我們知道磷是組成生物体質的一种重要元素,而且只有通过生物,溶解的磷酸鈣才能濃縮和聚集起来,所以磷矿(专指沉积类型)的产生无疑是生命活动的結果。也就是說,尽管无机的磷酸鈣微溶于酸性溶液內,但溶解度极小,因而磷質虽然主要是由陆源区的河流运到海里,且海水所溶磷質稍較河水为高¹⁾,惟距飽和点仍甚远。磷酸盐的沉积实在是由浮游生物一系列的生物化学作用所成,只有靠着生物的吸收和殘骸的再度溶解,方能达到或超过飽和点。至于陝西寒武紀磷矿的构成究竟与哪些生物有关,根据該地实际材料,初步推想如下:

首先是低等植物,海中漂浮的藻类大量散布于水面,它們把溶解的磷酸鈣吸收到身体組織內,死后則遗体沉积于海底,并将大部分的磷酸鈣質再溶于海水。陝西不少的寒武紀磷矿是在黑色炭質頁岩中,甚至就在磷矿矿物內,也含一定数量的炭質,此外还可看到小而蜷曲的絲状物和各种样式的藻类化石,这些都是显著的証据。其次是动物,有的可能不

* 作者野外工作时,曾蒙舒庆仁工程师及李金銘同志予以帮助,于此深表謝意。

1) 1 立方米的河水溶有不满 100 毫克的 P_2O_5 , 同体积的海水也只溶有 300 毫克的 P_2O_5 。

具硬体,而更重要的则为吸取磷酸钙质借以造成外壳的腕足类和古介形虫,前者(如圆货贝)外壳的磷酸钙含量可达百分之三六·五,后者所含的磷酸钙也是相当丰富的。这些生物的遗骸广泛而大量地分布于陕西早寒武世地层,这就有力地说明它们当时繁盛的程度。在所有这些生物中,只有浮游类方能不断地出现、死亡和下降,从而在海底补充和堆积了很多残体,所以海藻和古介形虫便起着主导作用。

生物残体的腐烂使得海水富集了二氧化碳和阿莫尼亚,两者尚可作用而成碳酸铵,由于海水含有较多的二氧化碳、碳酸铵和氯化钠,这样就对组织或硬壳所含磷酸钙质的溶解能力大大提高。关于生物从海水中最初吸取的磷酸钙,显然只有借着陆源淡水获得。

海水溶解的磷酸钙在温度增高和压力减低的介质条件下,可成饱和溶液或胶体而堆积于海底,它们往往以细小的碎屑作为核心然后逐渐增长,这样就形成鲕状结构,在少数情况下也可没有任何外物所成的核心,由于各种成分的浓度变化,有时造成了磷矿层,有时造成了含有磷酸钙的灰岩或燧石层。溶液或胶体所成的磷矿层分布较为稳定,厚度较为均匀,但结核型磷矿就大不相同,这个类型的磷矿是在海底淤泥中由碳酸钙和磷酸铵作用而成,前者普遍存在于海相沉积,后者则由生物腐烂过程中不断产生。

关于构成磷块岩的物质成分;陕西各地同样是由生物一系列的作用而成,相当普遍存在着的海藻和古介形虫便是显著的证据。如果在磷矿的生物成因和化学成因两者之间有所取舍,作者无疑倾向于前者,这和某些专家是有分歧的。不过作者所主张的生物成因,不是单指残骸沉积的作用,而在很大程度上兼指生物发生的一系列生物化学作用。至于具体到生物的类别,虽然一般包括很广(从细菌、海藻、有孔虫、放射虫、海绵、蠕虫、腕足类、瓣鳃类、腹足类、头足类、介形虫、三叶虫、海胆、海百合到脊椎动物的爬行类和鱼类),但对陕西和西南寒武纪的磷块岩,作者只着重地提出了古介形虫和海藻,古介形虫的成矿作用是经多次考虑而大胆倡议的,海藻则已有人(曼斯菲尔德)提出过。

二、磷矿的形成条件

形成磷矿的古地理位置 陕西寒武纪含磷岩系无疑属于海相沉积,这从大片的、很厚的灰质地层以及某些海相化石而得知。但进而追索含磷岩系特别是磷矿的自然地理位置(亦即存在于海中哪一部分)则为不易解决的一个问题,这里拟从许多方面加以论证:

首先,从生物群来对这个问题进行考虑:磷矿层内没有显著而完整的化石,因而缺乏确切的根据,可是如能注意矿层所含的丰富炭质,就会找到重要的线索。有一矿田的C矿层内含炭很多的磷块岩条带,色黑甚至可以污手;B矿层内也有相同现象并含碳磷灰石,而另一矿田的砂质磷块岩不少为暗灰及深灰色,碳磷灰石多达百分之三;泥砂质磷块岩的颜色一般不如砂质磷块岩之黑,但仍含有一定的炭质。这样丰富的炭决不会从远处搬运而来,无疑是由当地生物的遗骸所成。生物则以海藻的可能性最大,因为震旦、寒武纪的海水中,除藻类外,很难设想有较高级的植物存在,而整个植物群则为确定海水深度最明显的证据,这是由于水中植物和陆上植物同样不能生存于没有阳光的地方,一般以海面下100米为其界限。

其次,从某些特殊矿物进行分析也有助于确定古地理位置或海深情况,而磷酸盐矿物本身必须予以注意。现代海洋里的一些含磷矿物曾在少数地方发现,它们往往与泥砂质

沉积物共生而分布在从 50 到 100 米的深度范围以内,亦即磷酸盐的化学沉淀只能发生于陆棚的上部和中部。所以如此,决非偶然,乃是一定的客观因素在起作用,作者认为这与首先接受磷酸盐溶液并經一系列生物化学作用有关,寒武紀磷矿的形成,距离現代很久,而規模之大又非現代所可比拟,如果簡單机械地混同起来,显然不符实际,但把磷酸盐作为衡量海深的共同标准,可能不致有多大的錯誤。用来衡量海深的矿物还有海綠石和錳質岩(系由含水的氧化錳矿物而成),前述 B 矿层的砂泥質磷塊岩經显微鏡观察,見有少許海綠石存在,为綠色或黃綠色的細小顆粒,在土狀矿石中与磷矿伴生。現代海綠石的分布往往形成寬广的带,而沉积最多的則为接近淤泥綫的地区,亦即海深 100—200 米的范围。还有前述另一矿田的泥砂質磷塊岩內含有黑灰及紫灰色、質較松軟、含錳很高的錳質岩(以每十公里处并有同一层位的矿点),而根据現代沉积来看,錳質堆积只能出現于 50—100 米的海深范围。綜合这些矿物所反映的情况,我們不难看出:尽管少量矿物可能延展于邻近地带,因而发生錳質岩与磷酸盐的复合和磷酸盐与海綠石的复合,但陝西寒武紀磷矿形成于深度在 50—150 米的浅海內,基本是明确的。

沉积物的岩性特征、构造与結構也可提供判別古地理位置或探明海水深度的綫索。关于岩性特征,有几个矿区的含磷岩系(包括磷矿层在內)都含有大量灰質,并广泛分布;除碳酸岩外,即为泥質岩;較为粗粒的陆源碎屑几乎完全沒有看到;根据岩石組合,显然属于陆源碳酸岩建造。至于磷矿层的組成物質則主要为磷塊岩和燧石层(包括透鏡层及結核),形成碳酸岩的海水深度已如前述;燧石层則因与碳酸岩共生,也应为浅海所成。按照含磷岩系所成的陆源碳酸岩建造以及磷矿层內的那些化学岩,我們有理由把它們认为是浅海陆棚带的产物。表現于磷矿的构造与結構上則有鰐状、假鰐状构造、交錯层理构造和条带状、綫理状及球粒状結構,这些都說明了:磷塊岩沉积地区既非浜海,也非很深的海域。

綜合生物遺骸、某些特殊矿物、沉积物的岩性、构造和結構,我們得出陝西寒武紀磷矿甚至整个含磷岩系形成于深度在 50—150 米的浅海陆棚区的結論。

距岸远近及陆源区的地形 这个浅海陆棚区的沉积含着少量的陆源細粒碎屑,因而磷矿矿石內便有碎屑矿物存在,較常見的为石英,其他还有长石及电气石。有些矿田的灰質磷塊岩內含少量长石,另一些矿田的泥砂質磷塊岩,特别是粉砂結構的磷塊岩中見到很少量的电气石。这就可以看出:这个浅海陆棚区位于大巴山地台的北緣,而与以北和以南的古陆为邻。根据碎屑的岩性和矿石中的矿物,这些古陆就是以花崗片麻岩为基底的秦岭古陆和汉南古陆。前者綿延很远,后者近于島屿。

至于浅海陆棚区与陆源区的距离,可能不是很近;亦即陆源区的地形較为平坦,并和沉积地区保持一定距离。关于这点似有詳加論証的必要,主要可从含磷岩系的厚度及岩性加以检查。有一矿田的含磷岩系的厚度为 80 米;另一矿田則稍厚,但亦仅有 100 米;在不厚的沉积物中絕大部分是碳酸岩,碎屑岩所占比率只不过是含磷岩系整个厚度的十分之一,这充分說明:由于陆源区的地质构造簡單、地形平緩,碎屑的供給量有限,所以含磷岩系中的碎屑岩不多,也就是說岩性的縱向变化較少。

还有碎屑的粒度很小,而且几乎全为泥質,愈到接近磷矿层的层位,便变得愈少愈細。这提供了另一情况,就是由于陆源区的地形平緩,河水流速較小;所以虽然带来一些陆源

物質并使海水变淡,因而妨碍了碳酸盐的沉积,但只是些少量而细小的碎屑,它们在水体缓慢下陷和逐渐蒸发的过程中,几乎全部为化学沉积所代替。

海岸綫 陝西寒武紀含磷岩系虽有个別地区保存着完整清楚的化石,一般情况是生物遗体很不发育,可是根据地层間的关系、岩石性質以及邻区情况而把含磷岩系的地質时代定为早寒武世,那是没有什么問題的。至于磷矿的层位,经过剖面的分析与对比,各地也是一致的。形成各地含磷岩系的古地理位置都是海深为 50—100 米的浅海陆棚区,其与海岸的关系則保持相当远的距离。

按照以上情况并把它們加以綜合,我們完全有可能获致一个完整的概念。陝西寒武紀磷矿产地現在发现的还不算很多,仅就已知的一些来看,已可得出一个略呈东西向的古海岸綫。当然这只是一个簡單輪廓,真正的古海岸綫可能曲折和复杂得多。这个古海岸綫无疑是在大巴山地台的北緣,二者略呈一致的延长分布,这样才能从以北和以南的古陆获得少量的淡水和碎屑,更重要的是为海水提供了稀淡的磷酸鈣質。

水化学 陝西早寒武世形成磷矿的浅海,其水化学的条件如何呢?在時間距离現在很久和进行研究所依据的資料还很不够的情况下,这个問題是难于解决的;不过我們愿在把普遍存在和当地特有的情况結合起来,过去和現在的情况結合起来的方法下,嘗試性地加以探索:

海水含盐度首先应被考虑,我們知道海水里的盐类是由于河流运入和火山作用而增多起来,所以海愈古老,含盐度可能愈低。然而就在这样的低标准下,也应有正常、淡化和咸化之分,只是所有等級普遍降低罢了。陝西早寒武世形成磷矿的浅海,其含盐度可能較正常海的为高,亦即属于咸化海,原因如下:(1)整个含磷岩系所夹的陆源碎屑很少,粒度很小,足見流入的淡水不多;而磷矿层几乎全由化学岩組成,进一步証明是在海水逐渐蒸发、溶剂逐渐减少的情况下而成。(2)陝西早寒武世磷矿层內含有一定数量的黄鉄矿,这种矿物一般是在海水底部渲染了較多的硫化氢后形成的,而硫化氢則是在不正常(淡化和咸化)的海水中才出現的。(3)含磷岩系和磷矿层內很少有底栖动物化石看到,这与咸化海的底部缺少氧气,生物无法生活有关;也可能与壳質被水所溶,难以保存有关。

介质的酸碱性 磷酸鈣的沉积可能与古海的水化学情况保持一定关系,特别是介质的酸碱性。按照作者的看法,海中局部地区含有丰富的磷酸鈣并能达到或超过饱和度是与大量生物(植物及动物)的濃縮作用分不开的。这些生物吸取了水中稀淡的磷酸鈣質并把它們聚集起来,然后造成了自己的組織或外壳。它們在海水中遇到了較多的二氧化碳时,則受溶解而消失;由于生物作用后而溶度大为增加,因而便使所在地区的海水含有較多的磷酸鈣質。以后如果介质条件发生变化,亦即由酸性轉入碱性时,溶解的磷酸鈣質便可沉积。这样的事实已由实验証明,并确定了介质轉化关键是在 pH 值为 8—9 时。根据現代海水的 pH 值一般为 7.5—8.5,可知达到那样的轉机,实际上是不困难的。

磷矿形成时介质酸碱度的轉化清楚地表現于陝西寒武紀磷矿区内。这里的硅質磷块岩內常可看到燧石层与磷矿带、碳酸盐多次重复的現象。海水酸碱度的屢有变化,可能包括多种因素,作者认为主要与温度(特别是深海屢次上升而来的底部寒流所造成的温度变化)有关,因为海水內二氧化碳的含量是受温度控制的。

还原环境 陝西寒武紀磷矿不少是顏色深黑,而且含有大量碳質,說明海藻所剩的殘

骸并未完全破坏,可知古海为还原环境。与丰富的碳質并存于磷矿矿石內的,还有一些黃鉄矿的結晶,而黃鉄矿可能是在海水底部渲染了硫化氫,亦即在缺氧的环境下而造成的。此外,整个含磷岩系內沒有任何同生的氧化物,进一步显示了強烈还原环境的长期存在。作者认为还原环境对于磷矿的形成是有利的,至少对陝西早寒武世的磷矿是如此。

滞流水 在深度不大的咸化海中,能够渲染一定数量的硫化氫气体而未被攪动,可見当时的海水是十分稳定,亦即为滞流水。这种情况同样可由磷矿层里丰富的化学沉积(磷質岩、硅質岩和灰質岩)所說明。与磷矿层相伴生的則有鲕状、假鲕状构造,条带状、綫理状結構,这些构造、結構无疑是在稳定状态下緩慢的沉积过程中所成。还有,由于磷矿层是在滞流水中形成,沉积速度很慢,因而其厚度远較周围碎屑岩所成的地层为薄,这样的現象在陝西各矿区內是較为清楚的。

海底地形 陝西各地的寒武紀磷矿,分布一般不广,厚度变薄和矿質貧化是清楚的,經過了勘探工作就更为明显。有些矿田內,不仅結核型磷矿的范围很小,就連层状磷矿的規模也不大。在距离不远的地区內分散成几个磷矿,这些矿体不相連續,其矿質又各不相同。一地為泥砂質磷塊岩,而其东不过 1 公里的地方便变为灰質磷塊岩,这就使人想到,它們当时是在海水停滞的凹坑(可能与已經存在的向斜构造有关)中形成。这种想法如与渲染了硫化氫的海水結合起来,就更加易于理解。

古气候 形成陝西寒武紀磷矿甚至整个含磷岩系的古气候无疑是温暖而干燥的,这从沉积的組成和构造情况可以看出。气候的温暖,根据以下的事实而得到証明,那就是:陝西各地的寒武紀含磷岩系,按其厚度而言,百分之九十为碳酸岩,这样大量的、广泛分布的灰質只能是在温暖的浅海所成。气候的干燥,一方面表现为淡水很少,仅給含磷岩系运来少量而細小的陆屑;另一方面則表现为若干水下构造,陝西各矿区的寒武紀含磷岩系常有局部而短暫的侵蝕間断,和厚度小、碎屑与胶結物同为灰質的角砾岩层,这些現象都在表示水深变迁并指出了气候的干燥。

至于磷矿层的形成,更清楚地說明了气候問題,因为如果不是温暖、不是干燥的話,必然会有多量的淡水和粗大的碎屑流入;那样一来,不仅沒有磷酸鈣、碳酸鈣、二氧化硅等化学沉淀,相反而应有碎屑岩产生,这与磷矿层內含有极少陆源碎屑的情况显然不合。还有,海水温度可能常在变化(这自然会影响到地面温度),而磷矿往往是在寒流作用消失或在海水的温度变高、压力減低的条件下而形成的。

矿区的大地构造单位、蝕源区的情况 磷矿与围岩具有密切关系,并且共同反映了物質来源和外部环境的总和;而物質来源和外部环境則受矿区大地构造单位所控制并与蝕源区的某些情况保持一定关系。

陝西寒武紀磷矿区的大地构造单位仍为大巴山地台(或四川地台),而属北部边緣。关于这点可从几个方面来談:陝西各磷矿区的寒武紀地层均为正常的碎屑岩和碳酸岩,沒有复理式及任何地槽相建造,这已显示了所属的大地构造单位。至于寒武紀地层的厚度,各地很少有超过 500 米的,而火山作用几乎完全沒有。变质作用虽有迹象但很微弱,而且是在以后发生,因为受到变质而成的千枚岩都仅限于奥陶紀和志留紀的地层。从构造型式来看,很难发现任何与地槽有关的变形(如綫形紧閉褶皱及梳状、箱状褶皱)。此外,我們根据距离不远的剖面,还可看到前震旦系的基底和以下古生界为主的盖层。而陆源碳

酸盐类的磷块岩建造一般是地台相沉积,就更加証实了这个看法的正确性。由于地台区的海底平坦,海水較浅,对于陆源碳酸盐类的磷块岩建造显然有着控制作用。

矿区的沉积建造和以北的秦岭古陆、以南的汉南古陆也保持着一定关系,因为当时矿区的水化学和建造物质是与陆源区所供給的淡水和碎屑分不开的。而正由于陆源区与矿区間的距离較长,坡度較小,水流速度較慢,才使碎屑的顆粒較小,滾圓度大,分选度好;因而产生了少量的泥质成分和稳定的沉积环境,这种稳定的沉积环境无疑是形成磷块岩所需要的。

关于磷矿的形成条件,陝西和川西、滇东等地区具有很多相同情况,不仅在次要的自然地理条件(如咸化海、介质的酸碱度、还原环境、古气候及陆源区情况),更重要的是沉积磷矿的浅海陆棚区及地台型大地构造单位等主要的自然地理条件和地质条件。当然,这并不意謂着相互間沒有任何差別,而是存在了不同的海底地形,以致影响矿区的規模。对于形成磷矿的古地理单位,国内外学者一般認為有泻湖、海湾、浅海等各种可能。作者根据我国情况,較为属意于后者,并且明确提出了陆棚区中部的意見。

三、結 論

陝西寒武紀磷块岩的生成,可从本身的物质来源和外部的自然条件而进行研究。关于磷矿的物质来源,作者根据实际材料,認為与海中的浮游生物有关,主要是海藻和古介形虫。海水所含的磷酸鈣,尽管最初得自大陆流来的淡水,但溶度极微,必須通过生物的吸收,才能濃縮和聚集起来,以后借助于殘体腐解而产生的物质(二氧化碳及碳酸銨等),方可大量溶解,进而沉淀堆积于海底。

关于磷矿的形成条件,按照生物遺骸、某些特殊矿物和沉积的岩性特征、构造与結構,其古地理位置是在深 50—150 米的浅海陆棚区,与陆源区的距离不是很近。陆源区則由于地质构造簡單,地形較为平坦,这是分析建造而得出的結論。当时的海岸綫是在大巴山地台的北緣,略呈东西向,海水含盐度較正常海稍高,亦即属于咸化海,可从陆源碎屑的稀少、底栖动物的缺乏和含有一定数量的黄鉄矿加以推断。海水的酸碱度屡有变化,这反映于燧石层、磷矿带与碳酸盐的多次重复。含有較多的二氧化碳时,所溶磷酸鈣增加;在介质由酸性轉入碱性时,溶解的磷酸鈣便可沉积而成磷矿。磷矿內含有大量碳质,并有一定数量的黄鉄矿結晶,說明古海是还原环境,而硫化氫气体的渲染,則表示海水的稳定,滯流水的形成也可能与凹坑状的海底地形有关。磷矿区的古气候是温暖而干燥的,这从沉积物的組成和构造情况可以看出。海水温度时有变化是与底部寒流分不开的。这对海水的压力、酸碱度以及磷矿的形成都有很大的影响。矿区的大地构造单位属于大巴山地台,以北和以南則为古陆所成的蝕源区。它們都与矿区的物质来源、自然地理环境紧密地联系着。

陝西各地早寒武世的磷块岩,由于生成时代較早(世界各地一般在中寒武世以后),其成因不可能与世界各地完全相同,从磷块岩的物质来源及形成条件研究相互間的共同性与特殊性,不仅借以比較彼此的情况,且可深入了解各自的特点,这就既要分析我国具体的实际材料,并須吸取世界的正确理論,作者按此原則对陝西磷块岩成因問題进行了初步探討。

参 考 文 献

- 王曰伦：云南磷矿之成因及时代。地质論評 6 卷 1,2 合期，1941。
- 王曰伦：云南昆明孙中邑村磷矿。地质汇报 35 号，1942。
- 王竹泉：云南昆明孙大龙潭磷矿地质。地质汇报 35 号，1942。
- 王竹泉、霍世誠：云南嵩明官箴磷矿地质。地质汇报 36 号，1945。
- 王竹泉、霍世誠：云南呈貢雞叫山磷矿地质。地质汇报 36 号，1945。
- 叶連俊等：中国磷块岩的形成特点、矿石类型及远景评价。1959, 科学出版社。
- 程裕淇：云南昆明中邑村歪头山間磷灰岩矿产地质簡报。地质論評 4 卷 3,4 合期，1939。
- Душинский Г. И. Петрографическая характеристика фосфоритов Западной области. Минеральное Сырье, 2, 1934.
- Бушинский Г. И. Петрография и некоторые вопросы генезиса вятских фосфоритов. БМОИП, отд. геол, т. XI, вып. 2, 1936.
- Бушинский Г. И. Петрография и некоторые вопросы генезиса егорьевских фосфоритов Московской области. БМОИП, отд. геол, т. X, 1937.
- Бушинский Г. И. Фосфоритные фации верхнего мела Европейской части СССР. Агрономич. руды СССР. т. Тр. НИУИФ. вып. 1939.
- Бушинский Г. И. Апатит, фосфорит, вивинанит, 1952.
- Гиммельфарб Б. М. и Унаниянц Т. П. Сырьевая база туковой промышленности СССР. ОНТИ, М—Л, 1937.
- Гиммельфарб Б. М. Фосфоритоносный бассейн Кара-тау. Советская геология, 10, 1946.
- Гиммельфарб Б. М. Фосфоритовые месторождения Казахской СССР. 1946.
- Гиммельфарб Б. М. Что такое фосфориты, где и как их искать, 1954.
- Казаков А. В. Фосфатные фации и генезис природных фосфоритов Советская геология, 7, 1937.
- Казаков А. В. Химическая природа фосфатного вещества фосфатов и их генезис. Тр. НИУИФ, вып. 139, 1937.
- Казаков А. В. Фосфатные фации. ГОНТИ, М—Л, 1939.
- Казаков А. В. Геотектоника и формирование фосфоритных месторождений. Изв. АН СССР, сер. геол, 5, 1950.
- Орлова Е. В. Минеральные ресурсы зарубежных стран выпуск 19 фосфоритоносные бассейны зарубежных стран, 1951.
- Mansfield, G. R. and Richards, R. W. Geology of phosphat deposits of North-East of Georgetown. Idaho. Washington 1914.
- Mansfield, G. R. Geography, Geology and Mineral resources of South-eastern Idaho. U. S. Geol. Surv. Prof. Paper 152. 1927.
- Mansfield, G. R. The Idaho field. Mining and Metallurgy, 1928. Vol. 9, p. 19—20.
- Mansfield, G. R. Geogr. geol. and mineral resources of the portneuf Quadrangle. Idaho. U. S. Geol. Surv. Bull., 1929, No. 803.
- Mansfield, G. R. Some problems. of the Rocky Mountain phosphate field. Econom. Geol. 1931. Vol. 26, No. 4.
- Mansfield, G. R. Phosphate deposits of the U. S. Econom. Geology. 1940. Vol. 35, No. 3.